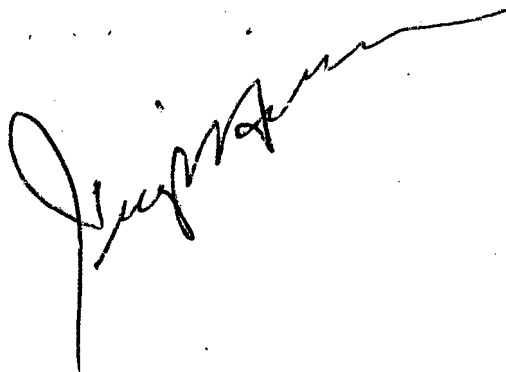


12529.  
TESIS = 1159.

FEDOR RODRIGUEZ M.



TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE LA  
ILUSTRE UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
PARA OPTAR EL TITULO EN  
HIDROMETEOROLOGIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Caracas, junio de 1963

TES:

9: 1

Para mi estimado  
colega Fernando-

~~Forbes~~  
15/6/64.

ANALISIS DE LOS METODOS PARA EL  
CALCULO DE LA SEDIMENTACION.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO D. MECANICA E HIDROLOGIA

DEDICATORIA

A mis padres

A mi esposa

## I N T R O D U C C I O N

La determinación del volumen transportado por las corrientes es de gran importancia para el proyecto y ejecución de obras de riego y de obras Hidráulicas - en general. Es de especial importancia este dato para el cálculo y proyecto de los embalses.

En el caso de irrigación, cuando los canales principales se bifurcan y se extienden, la capacidad del agua para transportar sedimentos va disminuyendo de acuerdo a la cantidad y tamaño de las partículas, a medida que la descarga del canal se reduce. Finalmente, los pequeños canales de agua para los campos de irrigación pueden transportar solamente algunos sedimentos de las fracciones más finas. Esto resulta en la formación de limos en los canales, brazos laterales, y canales secundarios, y será necesario una gran cantidad de trabajo y dinero para mantener el sistema de canales en buenas condiciones de funcionamiento. El sedimento generalmente ha de ser dragado a grandes costos y el área requerida para depositar los sedimentos excavados se transforman en un grave problema.

Existe también un problema grave en la sedimentación de los embalses, de los cuales depende la vida de las personas que se benefician de las aguas acumuladas, de la potencia generada y de la prevención de crecientes. En el diseño moderno de embalses se tiene en cuenta la acumulación de sedimentos que generalmente ocupa el fondo del embalse en frente del dique. Desafortunadamente mediciones tomadas en embalses existentes, muestran que una gran parte de los sedimentos se depositan en lugar de hallar su camino hacia el lugar destinado para su decantamiento, en los lugares destinados a capacidad viva, afectando así enormemente el funcionamiento del embalse. También es verdad que la rata de sedimentación de un embalse puede ser estimada, en forma precisa, durante la planificación, pero el tiempo que se puede permitir al embalse para que esté completamente lleno es un asunto económico que -

puede ser definido solamente por la consideración de los beneficios derivados del periodo util. Los beneficios que se derivan de esta manera, deberían cubrir el costo del embalse, sin embargo, no se debe dejar de notar las consecuencias que se originan, si en una región ya desarrollada, se le quite el uso del agua, para propósitos de tomas, irrigación, protección de potencia o para navegación. Esta pérdida intangible puede ser enorme.

De manera que el problema de la sedimentación es enorme en su importancia no solo para control de crecidas, sino para multiples propositos y requiere la atención de todos los que estan relacionados con la etapa de planificacion.

Este trabajo, en sus tres primeros capítulos da una idea general acerca del proceso de acarreo, deposición, operaciones de campo y laboratorio. En su cuarto y quinto capítulo se trata de explicar y analizar los metodos que aqui expongo para el cálculo de la sedimentación en corrientes naturales y en embalses.

Quiero hacer constancia de mi agradecimiento al Instituto Nacional de Obras Sanitarias y al Ministerio de Obras Públicas por la colaboración que me prestaron en la elaboración de este trabajo y en especial al Dr. Rafael Convit, Jefe del Servicio de Hidrologia del I.N.O.S. y al Dr. Figuera Pérez, Jefe de la Division de Hidrometeorología del M.O.P.

Además debo hacer extensivo mi agradecimiento al Dr. Nicolás Nouel y al Profesor Alberto Martínez por sus valiosas colaboraciones.

I N D I C E

	pagina.
✓ Capitulo I.- Ideas Generales acerca de la sedimentación.....	1 - 14
✓ Capitulo II.- Trabajo de Campo.....	15 - 21
✓ Capitulo III.- Trabajo de Laboratorio.....	22 - 30
Capitulo IV .- Métodos para el calulo de la sedimentación en co- rrientes naturales.....	31 - 43
Capitulo V.- Sedimentación en los enbalses.- Metodos para el cal- culo de la acumulación de sedimento.....	44 - 56
Bibliografía.....	57

## CAPITULO I.

Ideas generales acerca de la SEDIMENTACION. Desgaste. Erosión. Efectos de las gotas de lluvia. Transporte. Sólidos disueltos. Deposición o acumulación. - Perfil longitudinal de los ríos. Meandros.

---

El SEDIMENTO puede ser definido como cualquier material fragmentario transportado por, suspendido en, ó depositado por agua ó aire. Solamente la sedimentación relacionada con el agua será tratada aquí. Mientras que el agua infiltrada a través de la superficie del suelo transporta pequeñas cantidades de partículas muy finas hacia el interior de las capas terrestres, la sedimentación por el contrario es un fenómeno esencialmente superficial.

El impacto de las gotas de lluvia que caen transforma los terrones y agregados de la superficie del suelo en partículas sueltas. Estas partículas finas son luego puestas en suspensión por la energía de las mismas gotas y arrastradas por la corriente superficial hacia canales ya establecidos. Aún más, la fuerza de la corriente tiende a arrancar partículas adicionales y éstas, también pueden ser transportadas hacia los canales. Después de entrar al canal, las velocidades de la corriente pueden disminuir y como consecuencia de ello algunas de las partículas más pesadas caerán al fondo. Si las condiciones son tales que la velocidad del agua aumenta, la corriente levantará material del canal y lo transportará agua abajo. El tamaño de las partículas que permanecen en suspensión varía aproximadamente con una potencia de la velocidad. Además de las partículas transportadas en suspensión, algunas de las partículas más pesadas ruedan y saltan a lo largo del lecho. La construcción de represas a través de una corriente causa un aumento en el área de la sección transversal resultando una disminución en la velocidad de la corriente. Por esta razón los embalses son "atrapadores de sedimentos", perdiendo su capacidad de almacenamiento por causa del sedimento acumulado. Depósitos similares, conocidos como deltas, son formados donde las corrientes desembocan en un mar ó lago. Durante los períodos de creciente cuando las co-

rientes sobrepasan sus márgenes, las velocidades en las partes laterales son generalmente pequeñas, y por tanto, una parte de la carga de sedimento llevada por el agua es depositada y forma un plano de creciente. /

Los depósitos dejados por una corriente son por lo general más finos mientras más lejos estén del sitio de donde proceden. Por esto, las partículas llevadas por una corriente al mar ó a un lago son, casi siempre, muy finas y se asientan muy lentamente para formar depósitos marinos. Los suelos formados como consecuencia de la acción de las corrientes de agua son llamados suelos aluvionales. - En hidrología, la sedimentación comprende el estudio de las interacciones del agua y las partículas del suelo desde el impacto de las gotas de lluvia hasta la desembocadura de la corriente al mar a través de todas las diversas fases descritas. En otras palabras, puede suponerse el proceso de sedimentación dividido en cinco etapas esenciales:

- a) el Desgaste
- b) la Erosión
- c) el Transporte
- d) la Acumulación o Deposición y
- e) la Diagénesis o Consolidación en roca.

Seguidamente estudiaremos las partes antes mencionadas.

#### Desgaste.-

El desgaste constituye la primera parte del proceso, porque hace posible, - la posterior remoción, del sedimento. El desgaste se compone de: a) Desintegración mecánica. b) Descomposición química. La desintegración está influenciada por:

1.-Los cambios de temperatura, así al ocurrir calentamientos y enfriamientos bruscos, se producirán rupturas en las rocas, lo que es frecuente en zonas áridas y frías.

2.-La congelación del agua dentro de las rocas, producirá figuras por la fuerza expansiva que se desarrollará.

3.-Las plantas y los animales.

#### 4.-La erosión.

Respecto al desgaste químico, este prevalece en las zonas tropicales y ocurre en forma de oxidación, hidratación, carbonatación y disolución.

Las rocas ricas en Calcio y Magnesio y relativamente pobres en Sílice son más susceptibles al desgaste químico que las rocas ricas en Sílice y Alcalis. Las rocas sedimentarias son atacadas con mayor rapidez por el desgaste que las ígneas, debido a su gran permeabilidad.

La humedad y el aumento de temperatura aceleran el crecimiento de microorganismos que a su vez influyen en el desgaste químico.

Cuando el desgaste actúa por largo tiempo el suelo se aproxima a la madurez, que resulta en la formación de minerales de arcilla típicos del medio ambiente y en la producción de partículas muy finas. Los constituyentes de estos suelos al ser transportados a un lugar de deposición ó acumulación, forman un sedimento que tiene diferente reacción ante las cargas impuestas que los suelos formados por sedimentos provenientes de áreas, donde las rocas no han alcanzado una madurez química.

#### La Erosión.-

La causa principal del problema de la sedimentación, radica en la acelerada erosión de los suelos. La rapidez con la cual se efectúa este proceso depende de tres factores:

- 1.-La energía de los agentes erosivos.
- 2.-La erosibilidad del suelo ó susceptibilidad a la erosión.
- 3.-La influencia protectora de la capa vegetal. Los agentes erosivos que consideraré en relación con la erosión por el agua son, la precipitación (gotas de lluvia), y las corrientes de agua sobre la superficie ó por cauces ya establecidos.

La erosión del agua se considera generalmente de dos tipos (1) erosión laminar, el proceso de remoción de la capa superficial del suelo en una extensión más ó menos en forma de lámina; y (2) erosión profunda, el desarrollo de canales relativamente hondos y de márgenes con pendiente pronunciada debido a la acción de las corrientes-

de agua. La erosión laminar es causada por el impacto de las gotas de lluvia y el correr del agua, el cual desarrolla numerosos riachuelos y pequeños canales de naturaleza inestable. Estos riachuelos y surcos son destruidos por operaciones de agricultura y fenómenos naturales del tiempo de vez en cuando, y así el suelo tiende a ser removido en forma de lámina. La erosión profunda es causada por concentración del agua, lo que origina grandes volúmenes de alta velocidad. Por la misma naturaleza de la erosión, cualquier clasificación es arbitraria y relativa. En primer lugar, las hondonadas ó canales apreciables son de diversos tamaños (desde pequeños riachuelos hasta grandes ríos). Un campo que puede ser considerado con erosión profunda al verlo desde el mismo lugar, aparecerá mas bien como una superficie con marcada erosión laminar al observarlo desde una altitud considerable. Cada zanja apreciable comienza como una pequeña depresión, por tanto, el límite entre ambos tipos de erosión es arbitrario.

La erosibilidad de los suelos depende de muchos factores, gran parte de los cuales están notablemente correlacionados. Algunos de los factores más importantes que influyen en la resistencia del suelo a la erosión son: (1) la estructura, (2) la estratificación, (3) la permeabilidad, (4) el contenido de humedad, (5) la textura, (6) la composición mecánica, (7) el tipo y extensión de la capa vegetal, y (8) la pendiente del terreno. Aunque la erosibilidad de un tipo dado de material del suelo varía inversamente con el tamaño de las partículas, el suelo de arena fina se erosiona mucho más fácilmente que los de material cementado ó aún los de arcilla. Como la cohesión es reducida por falta de humedad, los suelos son generalmente más erosionables cuando secos que cuando húmedos. Un suelo con una densa capa vegetal es mucho menos susceptible a la erosión que después del cultivo. La presencia de sustancias coloidales, especialmente de origen vegetal tiende a aumentar la coherencia de las partículas del suelo y así disminuye la erosibilidad. Además del hecho de que la vegetación disipa gran cantidad de la energía de las gotas de lluvia que caen, tiende también a aumentar la resistencia del suelo a la erosión. Las partículas finas se adhieren a los sistemas de raíces cerca de la superficie y actúan como protectoras del suelo, aún más una capa densa tal

como grama, dificulta la velocidad de las corrientes de agua y al mismo tiempo - actúa como una capa protectora cubriendo el suelo, subyacente. Las observaciones han demostrado que la extensión que alcanza la erosión es casi proporcional a la pendiente hasta cerca de 20°, es máxima cerca de 40°, y decrece de allí en adelante.

Efecto de las gotas de lluvia.-

La desintegración de los agregados y terrones y el transporte de las partículas producidas están directamente relacionadas con la energía de las gotas de lluvia que caen. En consecuencia, esta energía es de primera importancia para quien se ocupe de la conservación del suelo. Aún en lluvias suficientemente intensas como para producir corrientes superficiales, la energía desarrollada por la lluvia en su caída sobre una pendiente de mediana extensión generalmente excede a la energía desarrollada por las corrientes. La energía cinética de una gota de lluvia cuando golpea la superficie del suelo es igual al semiproducto de su masa por el cuadrado de su velocidad. Como su masa es proporcional al cuadrado de su diámetro y su velocidad final, también aumenta con el diámetro (tabla 1-1), resulta que la energía de una gota crece rápidamente al aumentar su tamaño. La limitada evidencia disponible indica que el tamaño medio de gotas aumenta sólo ligeramente con la intensidad de la lluvia para una localidad dada. El efecto de esta variación, acompañado con el incremento de masa, hace, sin embargo, que la potencia erosiva de la lluvia aumente con mayor rapidez que la intensidad de la lluvia.

TABLA 1-1

VELOCIDADES TERMINALES DE LAS GOTAS DE AGUA

<u>Diámetro de la gota</u>		<u>Velocidades</u>		<u>Terminales en FT/SEG</u>
<u>Mm.</u>	<u>Pulg.</u>	<u>Según Lenard</u>	<u>Según Laws</u>	
0.5	0.02	11.5		18.1
1.0	0.04	14.4		21.6
1.5	0.06	18.7		26.4
2.0	0.08	19.4		29.1
3.0	0.12	22.6		30.3
4.0	0.16	25.3		30.5
5.0	0.20	26.2		

La energía de una gota de lluvia puede ser calculada si su tamaño y velocidad son conocidos. Sin embargo, el cálculo de la energía total de la lluvia que cae en una tormenta no es tan simple, aún cuando se conozca la masa total de la lluvia. Ya que las gotas varían considerablemente en tamaño y como la energía no es directamente proporcional al tamaño, debe hacerse antes una estimación de la distribución de éste.

Una idea de la magnitud de la energía puede obtenerse, por ejemplo, suponiendo una lluvia de cuatro pulgadas y que las gotas sean de 0.1 pulg. de diámetro. La velocidad terminal de tales gotas sería de 23 pies/seg. Se puede demostrar que la energía de las gotas en este caso es suficiente para elevar una capa de suelo de 4" hasta una altura de más de seis pies.

Al considerar la cantidad de material puesto en suspensión, es necesario determinar la energía de las gotas en el instante en que golpean el suelo. Este es un problema mucho más complejo que el de determinar la energía de la lluvia que cae. Parte de la energía es disipada antes de que el agua alcance el suelo, ya que algunas gotas son interceptadas por la vegetación, piedras y residuos de plantas. Estos factores varían ampliamente para diversos lugares y tiempos. Además de las variaciones en la cubierta vegetal, cualquier comparación entre lluvias iguales debe tomar en consideración las variaciones del viento en cuanto a dirección y velocidad. La cantidad de lluvia interceptada por la siembra en surcos es mayor cuando el viento atraviesa los surcos que cuando sopla paralelamente a ellos. Si la capa vegetal y de residuos de plantas es muy densa, las variaciones del viento del tamaño de las gotas y de la velocidad de caída no tienen mayor efecto. La energía es casi totalmente disipada antes de que el agua alcance el suelo.

En estudios sobre ruptura de agregados realizados en Coshocton, Ohio, por el Soil Conservation Service, porciones del suelo de 5' x 6' fueron expuestas a lluvia, el tamaño de las gotas y su velocidad fueron modificadas por separado con objeto de determinar el efecto de cada uno de dichos factores. De los resultados de estos experimentos, se encontró que los tamaños de partículas transportadas por la lluvia

al salpicar y la distancia a que son transportadas dependen del tamaño y la velocidad de las gotas de lluvia. Con gotas de 5.1 mm. de diámetro y velocidad de 19-pies/seg., piedras de 4 mm. fueron lanzadas a una distancia de 8", partículas de 2 mm. a 16", y algunas partículas más pequeñas a una distancia máxima de 5'. Con gotas de 3,5 mm. y velocidad de 17 pies/seg., partículas de 2 mm. fueron llevadas a una distancia de 8", y la máxima distancia para todas las partículas fue 3.5 - pies. En ausencia de viento y en una superficie plana la cantidad de material que salpica desde un punto, debería ser balanceado por la que salpica hacia ese punto. Sin embargo, por experimentos realizados en una pendiente de 10%, se encontró que la cantidad de material tomada por los muestreadores colocados de cara hacia la parte superior de la pendiente fue más de tres veces mayor que la captada por los muestreadores colocados de cara hacia la parte inferior. Si el suelo está descubierto, grandes cantidades de material son transportados pendiente abajo por la lluvia al salpicar, especialmente cuando hay viento que sopla pendiente abajo.

#### Transporte.-

Los mismos agentes que determinan la erosión, a saber, el agua, el viento, el hielo, las explosiones volcánicas, la gravedad y la actividad biológica, controlan el transporte de los sedimentos, pero en diferente proporción.

Atendiendo al agua, los factores principales que afectan el transporte son: la turbulencia, la relación de la velocidad de sedimentación a la velocidad de la corriente, y movimiento a lo largo del fondo por saltos, rodamiento ó socavación; también el tamaño, la forma, la densidad y la cantidad de las partículas. (Rubey-1.938, Rusell 1.939 y Rittenhouse 1.944).

La turbulencia se define como un régimen complejo de movimiento, que varía constantemente con el tiempo, debido a remolinos que se extienden con rapidez por toda la corriente, producidos a consecuencia de alguna inestabilidad en un punto-cualquiera de dicha corriente. Estos remolinos horizontales y verticales, tienden a mantener partículas de sedimentos en suspensión. Los principales factores que afectan el transporte por la turbulencia son la cantidad, velocidad y temperatura

del agua que se está moviendo, y la forma y rugosidad del lecho. Intervienen como factores principales, el gradiente del lecho, el volumen de agua y la presencia de obstáculos que impidan el flujo. La cantidad y forma del sedimento en suspensión influye también en la cantidad de material adicional que pueda ser llevado. La turbulencia aumenta el grado de disipación de la energía, como puede verse en los experimentos realizados por Reynolds en su tan conocido aparato. Ahora bien, como consecuencia de este fenómeno, un caudal dado que se mueve sobre una pendiente conocida puede transportar solo una determinada cantidad de un material cualquiera en suspensión.

El sedimento puede también ser transportado a lo largo del fondo de los cursos de agua. La turbulencia puede elevar partículas a una altura pequeña encima del fondo, pero no puede ser suficiente fuerte para mantenerlas en suspensión. Por consiguiente, las más pesadas caen al fondo, para ser de nuevo levantadas cuando la turbulencia alcanza la magnitud necesaria. Así adelantan las partículas, por medio de saltos y rebotes a lo largo del lecho, constituyendo lo que se denomina carga sólida de fondo.

En el mar ó en un lago, cuando desembocan los ríos, muchas partículas en suspensión son llevadas a sitios alejados; aún cuando la turbulencia puede no ser suficientemente fuerte para mantener estas partículas en suspensión, la masa de agua en la cual están incluidas se puede mover, y de este modo estas partículas pueden sufrir un movimiento lateral a medida que se van sedimentando a través de la masa de agua en movimiento.

El transporte de este tipo debe tratarse más que todo como un fenómeno estadístico. Para determinada distribución de los sedimentos y velocidad y profundidad del agua conocidas, el tamaño promedio de partículas que son transportadas decrece progresivamente con la distancia de transporte, pero al analizar una masa de agua bajo cualesquiera condiciones se encuentra uno con un tamaño de grano medio, y la divergencia en tamaños de las partículas de éste tamaño promedio varía de acuerdo a las condiciones de transporte.

El tema de transporte marino aún no está bien estudiado, pero es de tal magnitud, que hoy en día hay varias Instituciones Oceanográficas dedicadas a su estudio.

#### Sólidos disueltos.-

Los sólidos disueltos tienen más importancia en la sedimentación, de la que se le asigna corrientemente y deben ser reconocidos como una parte definitiva de la carga de sedimentos, que puede ser depositada debido a reacciones químicas y por evaporación.

La floculación de arcillas y materias coloidales por el cloruro de sodio del agua del mar, así como por la acción de los tanatos que proviene de despojos vegetales arrastrados por los ríos, constituye un factor importante en la formación de barras, en la desembocadura de los ríos, así como en los puertos y estuarios.

Los sólidos en disolución entran a formar parte de cada depósito fragmentario de sedimentos, debido al hecho simple de que cada partícula lleva consigo al decantar una película de agua que contiene sólidos en disueltos. Hasta puede darse el caso, como en las regiones áridas del Oeste de los Estados Unidos de Norte América, que en determinadas épocas, los ríos llevan más sólidos disueltos que en suspensión, pudiéndose ver eflorescencias e incrustaciones de sales alcalinas a lo largo de las orillas de los ríos, en barras y hasta en lechos secos.

Las areniscas, esquistos y conglomerados son rocas sedimentarias que al examinarlas se observa que contienen materia química que estaba en solución, cuando se formaron los depósitos originales, y en algunos casos tuvo un rol importante en la cementación que transformó el depósito en piedra.

Es importante el valor de los sólidos disueltos, para mantener la fertilidad en las tierras bajas y en los deltas, así las lluvias fuertes arrastran del suelo enormes cantidades de alimentos solubles para plantas y entonces las inundaciones por las crecidas constituyen el agente renovador; bajo el anterior punto de vista los ingredientes solubles de las aguas de los ríos, son más valiosos que los sólidos fragmentarios, que requieren una desintegración preliminar por la luz solar y-

por la actividad bacterial, antes de que parte de ellos puedan ser asimilados por las raíces de las plantas.

El ácido tánico que sueltan las raíces de vegetales, cubre las materias del lecho con tanatos, de tal forma que imposibilita su uso como agregado para el concreto.

La floculación debido al agua salada, es un proceso electro-químico de cambio de base, análogo a aquel que tiene lugar en el reacondicionamiento de las Zeolitas, en las plantas de tratamiento de agua. Resulta un hidrosilicato de aluminio con una base de sodio, cuyas partículas inmediatamente forman núcleos que decantan; es decir, lo que era una arcilla de calcio se transforma en una arcilla de sodio, - que si se deja acumular y permanecer en reposo, a consecuencia de la compactación- deja como producto una arcilla azul oscura que se conoce con el nombre de arcilla-marina.

#### Deposición ó acumulación.-

Los procesos de la deposición son muy complejos y sus productos son múltiples. En este trabajo estudiaré la acumulación por el agua, aunque puede originarse igualmente por otros agentes.

El proceso de la deposición en el agua, está en función de la energía del agua, del sitio donde se va a depositar y del tiempo. Cuando la energía de transporte del agua disminuye, algunas partículas ya no pueden ser transportadas y llegan a un estado de reposo. El medio ambiente en el cual se trasladan estas partículas, afecta grandemente los tipos de sedimentos que se depositan, principalmente debido a la acción - del sitio de deposición sobre el movimiento del agente transportador, ya sea el agua, el hielo o el aire.

El tiempo también es un factor, ya que la rata de movimiento de las partículas determina si éstas serán levantadas de su sitio, movidas ó depositadas. Además los - depósitos de sedimentos, cambian en el curso del tiempo, fenómeno que en la geología se conoce bajo el nombre de Diagénesis.

Los principales productores de la energía son las corrientes, el viento, las -

explosiones volcánicas, ó materiales que por haber estado colocados en posición más elevadas, a causa de la convección, turbulencia ó diatropismo (movimiento de la corteza terrestre) habían adquirido energía potencial.

La influencia del tiempo, en especial la rata de cambio, es complicada. La más importante rata de cambio es la velocidad,  $ds/dt$ ; a esto se agrega además los cambios y la rata de cambio en dirección. En otras palabras, la deposición viene fuertemente influenciada por la turbulencia, cuando es producida en un corto tiempo, y por los cambios de velocidad media si el tiempo en que se producen es largo.

La turbulencia afecta el tamaño del grano que se deposita, o sea, la distribución de tamaños de los sedimentos (Curva de gradación). Si el agua tiene una velocidad promedia bastante constante, y hay pocas fluctuaciones en la turbulencia, se depositan serán de diámetro aproximadamente igual. El agua con poca velocidad conduce a una gradación pobre de partículas en comparación con el agua de gran velocidad.

La distribución de tamaño de las partículas, como depende del movimiento del agua en el cual se acumulan los sedimentos, será un índice del modo de deposición. Si está actuando un solo proceso, la distribución de los tamaños será probablemente más simétrica que si operan varios procesos. Por ejemplo, si el lugar de acumulación recibe despojos de varias fuentes, el material depositado tendrá una o más distribuciones según tamaños depositadas una encima de la otra, con el resultado de que la distribución de los sedimentos vendrá en varias capas oblicuas. También habrá un resultado similar, si una zona está sujeta a variaciones de la velocidad media.

Si la velocidad del agua varía, en magnitud o en dirección durante un apreciable lapso de tiempo, o si la fuente de abastecimiento de los sedimentos cambia de carácter, la distribución de tamaño resultante de los sedimentos será distinta. La formación de capas es una de las principales características de la sedimentación.

Ordinariamente los sedimentos se depositan en capas casi horizontales; sin embargo, si la superficie sobre la cual se depositan no es horizontal ni plana, las

capas individuales tienden a conformarse a esa pendiente. Con la deposición con tínua, disminuyen las desigualdades de la pendiente, y llegará el momento cuando el ángulo con el cual se depositan las capas, corresponda a la posición de equilibrio para el gasto sólido y la velocidad del agua.

#### Perfil longitudinal de los ríos.-

Los ríos durante su recorrido experimentan un variado proceso erosivo que está condicionado por: abrasión, corrosión y el transporte, dependiendo cada uno de ellos de las características geológicas de la zona por donde fluye el río.

La abrasión es el desgaste mecánico del lecho del río motivado a la continua fricción de los materiales que la corriente arrastra y estos materiales a su vez se desgastarán adquiriendo formas esféricas.

La corrosión es la acción química que los ácidos, el anhídrico carbónico y el oxígeno que se encuentran disueltos en el agua, ejercerán sobre los materiales constituyentes del lecho.

Como un proceso complementario a la erosión fluvial, ocurre la sedimentación ocasionada por cualquier factor que afecta la velocidad y con ello el poder de transporte; así la velocidad puede disminuir debido a:

- 1) Obstáculos en el curso.
- 2) Desembocadura del volumen del río
- 3) Disminución del volumen del río
- 4) Cambios en la forma del valle

Al existir sedimentación ésta se presentará bajo diversas formas; así al ocurrir un cambio brusco de pendiente que ocasionase una reducción de la velocidad, se formarán los conos de deyección, que son frecuentes al pie de las montañas; de unir se entre si los conos de deyección originan los conos confluentes.

En las curvas de los ríos, por la disminución de la velocidad ocurrirán los bancos de sedimentos. Las barras se presentan en los cursos inferiores de los ríos y crean obstáculos peligrosos para la navegación, que ameritan costosos trabajos de dragado, lo que se ha tratado de solucionar con la construcción de diques paralelos

(jettees), que ocasionan un aumento de la velocidad, con la consiguiente disminución en la deposición de acarrees.

En grandes avenidas, los ríos depositan sedimentos en las riberas y así se van formando los llanos aluviales.

Cuando los cursos de agua desembocan en aguas tranquilas, la brusca disminución de la velocidad ocasiona la formación de los deltas, a menos que las corrientes litorales arrastren los sedimentos.

Uno de los procesos de sedimentación fluvial más importante, es el que ocurre en el mismo lecho del río y así se observa que sus perfiles varían sensiblemente desde su nacimiento hasta su desembocadura. Así, las mayores pendientes ocurren en los tramos superiores, donde la erosión fluvial será más grande y la sedimentación ocurrirá en forma creciente aguas abajo; esta deposición de sedimentos origina en la parte media de algunos ríos, el levantamiento de sus cauces, con la cantidad de perjuicios que ellos ocasionan. Este proceso es muy frecuente en Venezuela, dadas las características topográficas de nuestro país.

Cabe destacar en los ríos, su tendencia a formar meandros y como tal se define a los canales en forma de S, hechos de materiales aluviales, que presentan la característica de variar su ubicación y forma. En especial en los meandros ocurre un proceso más ó menos continuo de erosión de las orillas, y el posterior depósito aguas abajo del material transportado; existen meandros en los más diversos tipos de corrientes, ya se encuentren en estado de agradación, socavación o equilibrio. Los factores-determinantes a la formación de Meandros son:

- 1.- la pendiente del valle
- 2.- la carga del lecho
- 3.- el gasto del río
- 4.- la resistencia del lecho a la erosión que dependerá del tamaño de los granos, su peso específico, su cohesión y la rugosidad del lecho.
- 5.- la ondulación transversal que toma en cuenta los cambios en la pendiente de la superficie del agua, en forma normal al eje de flujo.

La deposición en los ríos está caracterizada por la acción de corte y relle no durante las crecidas. Cuando la descarga es grande y la velocidad del agua tam bién, el lecho de la corriente es socavada a una profundidad mayor que durante pe- ríodos normales de flujo. Cuando pasan las crecidas y el río vuelve a sus alturas- normales, disminuye la profundidad de socavación y el lecho se llena de nuevo has- ta alcanzar su posición acostumbrada.

En tiempos de desborde, las corrientes abandonan sus cauces y se extienden- sobre las llanuras adyacentes, dejando depósitos de cieno y arena. Estos depósitos generalmente no están bien distribuidos y tienden a variar en tamaño y grueso de - los granos en distintos sitios donde se depositan.

Generalmente estos depósitos son más gruesos en el límite entre el cauce de- la corriente y el plano inundado, ya que la disminución de la velocidad del agua - en tales sitios favorece la acumulación de los sedimentos; de éste modo resultan - defensas naturales a lo largo de los ríos.

Si una corriente fluye através de un valle aluvial compuesto esencialmente - de arena o grava suelta, es probable que la corriente y su canal estén en equili- brio. El tamaño, la forma y la pendiente se ajustan a la cantidad y variación de- la descarga y el abastecimiento de sedimentos del tamaño de los que componen su - lecho. Ahora bien, si se hace un cambio artificial en las características del flu- jo, el abastecimiento de sedimentos o tamaño y pendiente del canal, la corriente- tratará de alcanzar un nuevo estado de equilibrio, socavando o llenando el lecho, ensanchando o angostando el cauce, o sino, variando la pendiente.

Es muy conveniente estabilizar las márgenes de los ríos, para la adecuada - protección de puentes y otras estructuras y como medidas para la prevención de la erosión de las márgenes se ha usado el revestimiento de enrejado y concreto, que- adolece del defecto de tener un elevado costo.

La teoría de modelos ha encontrado también aplicaciones en éste campo y así se han hecho numerosos experimentos del transporte de carga sólida en los laborato- rios de algunos Institutos Tecnológicos Europeos y Norteamericanos.

CAPITULO II. ✓

Trabajo de campo: Selección de verticales. Puntos de muestreos. Frecuencia del muestreo. Equipos.

---

El presente capítulo tiene por objeto, presentar en muy breve resumen, las investigaciones que han sido realizadas acerca de los métodos para obtención de las muestras de una sección transversal en un río.

La obtención de las muestras requieren las siguientes operaciones:

- 1) Selección de las verticales que indiquen los sitios de muestreo.
- 2) Situación de los puntos para el muestreo, sobre dichas verticales.
- 3) Determinación de la frecuencia del muestreo.
- 4) Elección del equipo para la toma de las muestras.

✓ Selección de las verticales para el muestreo.-

Como resultado de numerosas observaciones realizadas se puede afirmar que el número y la situación de las verticales en una sección transversal de una corriente son generalmente de escasa importancia sin comparación con la posición de los puntos de muestreo sobre cada vertical y la frecuencia del muestreo; la variación de la concentración de sedimentos es mucho más notable de la superficie a la base que de una a otra orilla.

La selección debe hacerse, tomando en cuenta el grado de aproximación deseado, el tamaño y características de la corriente y la cantidad de sedimento del momento en relación con la carga de sedimentos anual. De estos factores los más importantes son: la magnitud de la corriente y la aproximación deseada. Los métodos más usados, han sido:

- a) Una vertical en medio de la corriente.
- b) Una vertical en el punto de mayor profundidad.
- c) Verticales a  $1/4$ ,  $1/2$  y  $3/4$  del ancho.
- d) Verticales a  $1/6$ ,  $1/3$  y  $5/6$  del ancho.

e) Cuatro o más verticales equidistantes através de la sección.

f) Verticales en el medio de secciones igual descarga.

De estos métodos, los dos primeros son los más simples; el b) es preferible porque generalmente el mayor porcentaje de descarga corresponde al punto de máxima profundidad, sin embargo, su uso debe ser limitado a corrientes pequeñas.

El método c) es ampliamente usado y da una más acertada representación de la descarga de sedimentos que los anteriores. Su popularidad se debe, a la facilidad de aplicación en el campo por parte de observadores sin conocimientos especiales.

El método d) sólo tiene justificación racional, cuando se aplica a corrientes anchas, con distribución uniforme de profundidad y velocidad. En este caso las verticales se encuentran en el medio de secciones de igual descarga; no obstante, la existencia de tales condiciones no es frecuente. En la mayoría de las corrientes el método c) es más aconsejable.

El método e) sólo es racional cuando los resultados son tomados en proporción a las descargas representadas por cada vertical.

El método f) tiene una base racional, y para su correcta utilización conviene seguir el siguiente proceso. Se elige el número de verticales, siendo necesario consultar la siguiente tabla:

TABLA 1-2

N° de Puntos De Muestras	Gastos Acumulados como % del gasto total													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	25	75												
4	12	38	62	88										
6	8	25	42	58	75	92								
8	6	19	31	44	56	69	81	94						
10	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95				
12	4	12	21	29	38	46	54	62	71	79	88	96		
14	4	11	18	25	32	39	46	54	61	68	75	82	89	

Entonces se hace necesario determinar el espaciamiento entre las verticales elegidas, para lo cual se construye una tabla de gastos acumulados haciendo uso de

un aforo previamente efectuado y procediéndose a acumular los gastos, sumando sucesivamente los gastos parciales y posteriormente se encuentra el % del gasto acumulado con respecto al gasto total. Posteriormente se procede a la elaboración de una curva de distancia contra % de gastos acumulados y en ella entrando con los datos provenientes de la tabla anterior, según las verticales elegidas, se encontrarán las distancias correspondientes.

✓ Situación de los puntos de muestreo sobre las verticales.-

La experiencia prueba que la variación de la concentración de sedimentos de la superficie a la base, es en general, de mayor importancia que la variación con sentido transversal, como ya se indicó. La concentración aumenta de la superficie a la base. Si se quiere lograr una buena aproximación en el cálculo de la descarga de sedimentos, los puntos de muestreo en las verticales deben elegirse, tomando en cuenta la distribución vertical de los sedimentos. También debe tomarse en cuenta, la variación de la velocidad, ya que como es sabido, ésta decrece de las superficies a la base.

✓ Métodos usados.- Los métodos usados han sido clasificados en arbitrarios, empíricos y racionales. En los arbitrarios, los puntos son elegidos tomando en cuenta solo conveniencias de orden práctico. Los métodos empíricos toman en cuenta mediciones previas. Los racionales son aquellos que están basados en un análisis de los factores presentes en cada caso.

Los métodos arbitrarios y empíricos más usados son:

- a) Una sola muestra tomada en la superficie.
- b) Una sola muestra tomada a 0,6 de la profundidad.
- c) Muestras tomadas en la superficie y la base, ponderadas igualmente.
- d) Muestras tomadas en la superficie, en el medio y en la base, ponderadas igualmente.
- e) Muestras tomadas en la forma anterior, pero con coeficientes ponderales 1,2,1 respectivamente.

La ventaja del método a) es su facilidad de aplicación por parte de operados sin habilidad especial. A fin de hacer de éste método arbitrario un método em

pírico, es necesario aplicarle un coeficiente obtenido a base de estudios de la corriente en cuestión.

El método b) presenta la desventaja de que el muestreo a una profundidad fraccionaria puede presentar dificultades para los operadores. Además, recientes estudios han demostrado que la distancia de la base de una corriente hasta el punto de concentración media varía inversamente con el tamaño de las partículas en suspensión. ✓

El método c) es totalmente arbitrario, solo presenta justificación práctica.

Igual cosa puede decirse del método d), aun cuando ha sido extensamente usado.

En cuanto al método e), en los últimos años ha sido generalmente adoptado. Muchos observadores han encontrado que los coeficientes 1,2 y 1 son aproximadamente proporcionales a la descarga de agua en las respectivas secciones de la vertical. Además, es un método relativamente simple en su aplicación, pudiendo ser realizado por observadores sin una gran experiencia.

Métodos racionales. - En cuanto a los métodos racionales, requieren un gran número de muestras simultáneamente con mediciones de la velocidad. Estos métodos son usados sólo en investigaciones especiales debido a que son muy laboriosos para los muestreos ordinarios. Citaré el de Luby, que determina puntos correspondientes a secciones de igual descarga.

Método de Luby. - Se basa en el desarrollo de 2 curvas, una curva A, que nos da la variación vertical de la velocidad. Una curva B, deducido de la A, muestra el tanto por ciento de la descarga bajo cualquier porcentaje dado de la profundidad. Teniendo estas curvas para una corriente, la situación de los puntos de muestreo por el método de Luby, se hace fácilmente. Si se desean 4 puntos, entrando con este número en la tabla 2 se encuentra que los centros de las fracciones de igual descarga corresponden a 12, 38, 62 y 88 por ciento de la descarga total. Con estos valores, de la curva B se obtienen los porcentajes de profundidad a que deberán hacerse los muestreos.

✓ Frecuencia del muestreo. -

Para evitar abultados errores por excesivas interpolaciones, es conveniente practicar en vez de mediciones aisladas que tengan una gran precisión intrínseca, mediciones continuas que aunque sean de menor precisión aportarían al resultado final, una precisión estadística. Así conviene incrementar el número de aforos - durante los meses de mayor precipitación.

Los cambios en la concentración de sedimento debido a la rápida variaciones en el caudal, especialmente en corrientes pequeñas, puede ser de tal magnitud, que se hace necesario que las muestras sean tomadas frecuentemente para evitar los errores anteriormente expuestos en la determinación de la descarga anual. Se ha encontrado también que la concentración de sedimentos durante las crecientes varían más rápidamente durante el ascenso que durante el descenso. Por lo tanto, las muestras deben tomar con mayor frecuencia en el primer período.

#### Equipo para la toma de las muestras.-

Las condiciones requeridas en un muestreador ideal son las siguientes:

a) El sedimento en suspensión no debe ser separado del agua a su entrada en el muestreador debido a un brusco cambio en características de la corriente tales como turbulencia, velocidad ó dirección.

b) La muestra tomada en un punto no debe ser contaminada con agua o sedimentos de otras profundidades. El muestreador debe poder abrirse en el punto deseado y cerrarse cuando esté lleno.

c) El volumen de la muestra debe ser suficiente para satisfacer las necesidades del laboratorio.

d) Debe ser tal que se evite la transferencia de la muestra a otro recipiente para su envío al laboratorio. Esto evita la pérdida de sedimentos por adherencia al depósito del muestreador.

e) El recipiente del muestreador debe ser transparente a fin de observar el grado de asentamiento del sedimento.

f) Debe poderse tomar una muestra instantaneamente o durante cierto tiempo, según convenga.

g) Su diseño y construcción deben prestarse a facilidades de transporte, reparación y demás exigencias prácticas. A pesar del gran número de muestreadores en uso, ninguno reúne todas las características deseables. Sin embargo, muchos dan resultados bastantes satisfactorios de acuerdo con las condiciones de las ~~corrientes~~ y el tipo de investigación deseada. Podré citar entre ellos el de Fait-Binckley, el U.S. P-46 y el U.S.D.H.-48.

El primero, fue diseñado por George S. Binckley y C.E. Fait para tomar muestras instantáneas. Consiste, esencialmente, de tres cilindros metálicos de igual diámetro montados coaxialmente en una armadura. El cilindro central, que es el recipiente para la muestra, puede rotar alrededor de su eje y está conectado a los cilindros fijos de los extremos por tubos de goma. Para tomar las muestras se hace girar la sección central por medio de una cuerda arrollada en ella.

El segundo, permite tomar la muestra durante todo el tiempo de descenso, o de ascenso, o durante cierto período en un mismo punto. Está construido de manera que la presión del aire en el recipiente y la presión hidrostática, quedan automáticamente equilibradas a las diferentes profundidades, evitándose así, la entrada brusca del agua al comienzo. Consiste esquemáticamente de un casquete de bronce, un espacio interior para el recipiente, una cámara de aire con un volumen cinco veces mayor que el del recipiente y una válvula controlada por un mecanismo electro-mecánico. Su peso es de 100 libras.

El tercero, es un muestreador de ligero peso para la recolección de muestras de sedimentos en suspensión y donde el sistema lo constituye una varilla consistente. El muestreador consta de un vaciado de aluminio y con forma aerodinámica, de 13 pulgadas de longitud y el cual encierra parcialmente una botella que es la que funciona como recipiente para la muestra de sedimento. El muestreador pesa 4 1/2 poudals incluyendo el recipiente de la muestra (la botella). Una boquilla de bronce se extiende horizontalmente desde el extremo anterior del cuerpo del muestreador.

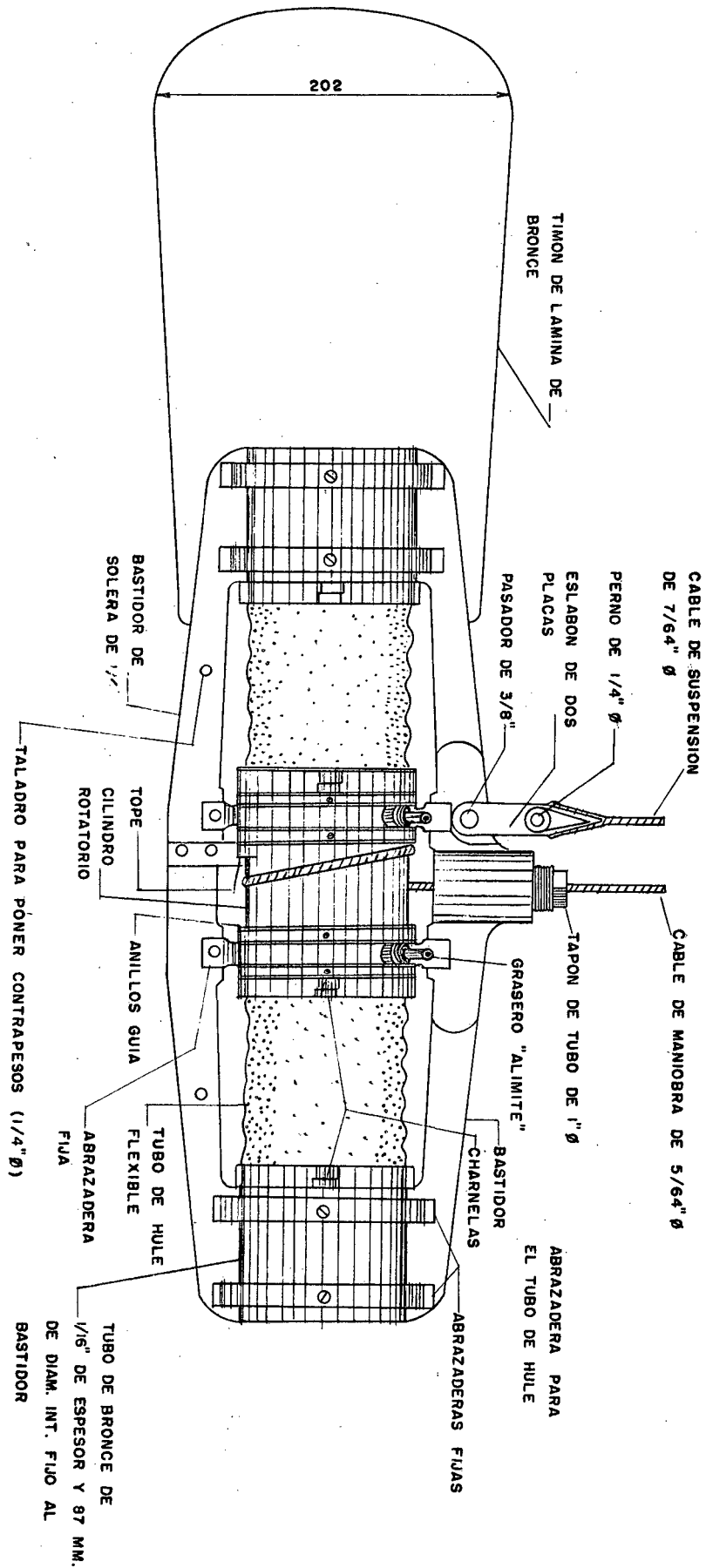
Una proyectura aerodinámica apuntando sobre la parte posterior y sobre el lado de la parte anterior del muestreador, tiene una válvula de escape que le permite-

al aire escapar del interior de la botella cuando la muestra está siendo obtenida. Una varilla maciza de 1/2 pulgadas de ancho se atornilla en el extremo superior del cuerpo del muestrador para suspenderlos. El recipiente de la muestra es colocada en su lugar y sellado mediante un tapón de goma y la cabeza del muestrador mediante una abrazadera unida a la parte posterior del muestrador.

Este muestrador puede tomar muestra hasta una distancia de 3 1/2 pulgadas del lecho de la corriente. Este muestrador es calibrado con una boquilla de un 1/4 pulgadas de diámetro interior, pero una boquilla que tenga un borde de 3/16 pulgadas puede ser usada.

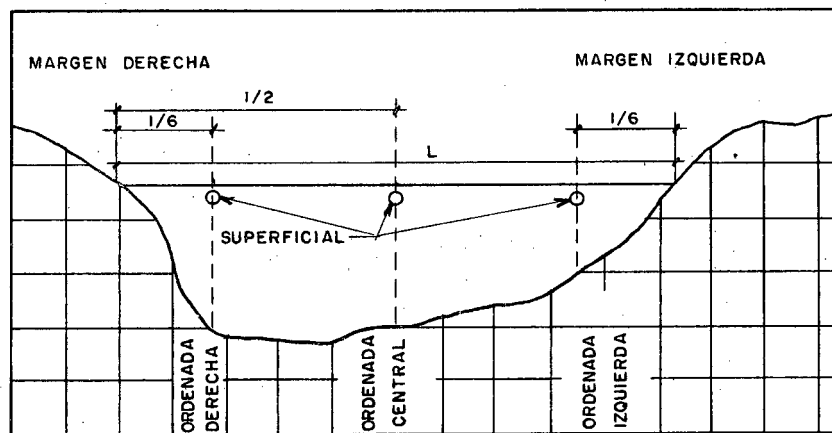
En la operación del muestreo la boquilla se orienta dentro de la corriente y se coloca en posición horizontal mientras que el muestrador es bajado dentro de la corriente. El muestrador es bajado a una rata uniforme desde la superficie del agua hasta el fondo de la corriente inmediatamente se le da vuelta y se levanta hasta la superficie del agua a una rata uniforme. El muestrador continua tomando su muestra durante el tiempo de sumergencia. Por lo menos una muestra de sedimento debería ser tomada en cada vertical seleccionada la sección transversal de la corriente. Una botella limpia es usada para cada muestra.





Muestrador de Sedimentos "BINCKLEY" .-Figura 2-2

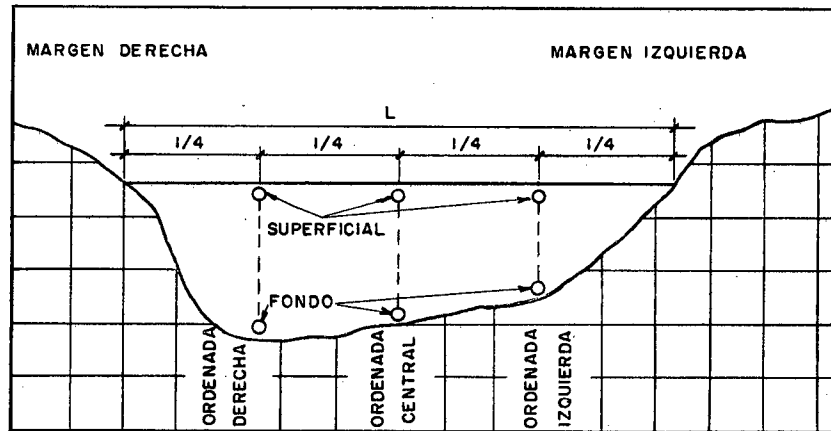
Figura 3-2



LAS MUESTRAS SUPERFICIALES SE FORMARAN UNA EN EL CENTRO Y UNA CERCA DE CADA ORILLA, SEPARADAS DE ELLA UNA SEXTA PARTE DEL ANCHO  $L$  DE LA CORRIENTE,

Distribución que se dara al muestreo superficial de sedimentos en una corriente.

Figura 4-2



EL ANCHO  $L$  DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
A LA HORA DE LAS OBSERVACIONES SE DIVIDIRA  
EN 4 PARTES IGUALES PARA FIJAR LAS ORDENADAS  
DE MUESTREO.

Distribución que se dara al muestre total de sedimento en una corriente.

### CAPITULO III.

Trabajo de Laboratorio. Ley Stokes. Análisis de sedimentos de partículas pequeñas. Análisis de sedimentos de partículas gruesas. Curva de Oden. Bottom Withdrawal Tube. Análisis de las muestras.

---

La muestra de agua que se ha obtenido en el campo, es pasada al laboratorio para su análisis.

El problema consiste en separar el sedimento del agua, con el fin de determinar su volumen, peso y las cantidades de partículas de diferentes tamaños, y la cantidad de partículas por unidad de volumen de la muestra. Este problema se dificulta debido a las muy bajas concentraciones que generalmente existen: casi siempre inferiores a 0.2% y con frecuencia tan bajas como 0.02%. A esto se agrega el poco volumen de las muestras, en general inferior a un litro, con los muestreadores en uso. También las velocidades de asentamiento son muy bajas para las partículas finas, de lo que resulta la necesidad de largos períodos de asentamiento antes de que el agua clara pueda ser removida.

Características de las partículas.- Generalmente las partículas en suspensión tienen un diámetro, que varía desde 0.5 mm. hasta un micrón, o sea 0.001 mm.

Las suspensiones de partículas menores 0.001, hasta 0.0001 constituyen las suspensiones coloidales; de 0.0001 hasta 0.00001 soluciones coloidales; y de 0.00001 hasta 0.000001 son las soluciones moleculares.

El análisis frecuente de los tamaños de partículas se ocupa sólo de partículas hasta cerca de 0.002 mm. Para las menores la separación se hace prohibitiva debido al enorme tiempo que se necesita para el asentamiento. Afortunadamente, estos carecen de valor práctico en los trabajos más frecuentes de ingeniería hidráulica.

Ley Stokes. Velocidad de caída de las partículas.-

Los métodos para la determinación del tamaño de las partículas inferiores a 1/16 mm., las que atraviesan el cedazo de 200 mallas, se basan en el comporta-

miento de las partículas en algunos fluidos, generalmente aire ó agua. El comportamiento depende del siguiente principio: las partículas de igual densidad tienden a caer en un fluido dado, a una velocidad que es función de la forma y tamaño.

Aunque el análisis por cedazos predomina en el estudio de partículas mayores de 1/16 mm., se cree en la posibilidad de desarrollar métodos basados en sus velocidades de caída, en agua o en algún líquido de mayor viscosidad. Un análisis en esa forma en vez de la combinación de métodos hidráulicos y de cedazos, tendría la ventaja de eliminar el quiebre algo brusco que con frecuencia resulta en la curva de Tamaños cuando se usa tal combinación.

Ley de Stokes.- Una partícula de suficiente tamaño como para vencer el movimiento Browniano, después de una aceleración inicial debida a la gravedad, cayendo en un fluido, adquiere una velocidad de caída constante G.G.Stokes, en 1.851, dió a esta ley la expresión siguiente:

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{(P_1 - P_2) g r^2}{M}$$

Donde:

V es velocidad de caída en cm/seg.

P<sub>1</sub> es densidad de la partícula en gm/cm<sup>3</sup>

P<sub>2</sub> es densidad del fluido en gm/cm<sup>3</sup>

g es aceleración de la gravedad (981 cm/seg<sup>2</sup>)

r es radio de la partícula en cm.

M es coeficiente dinámico de viscosidad (absoluta) en dinas seg/cm<sup>2</sup>

Usando el agua y tomando 2,65 como densidad de la partícula, la ley se reduce a

$$V = \frac{89.83 d^2}{M}$$

Donde: d es diámetro de la partícula en cm.

Otra forma de expresar esta última es:

$$t = \frac{0.01113 H.M}{d^2}$$

Donde: t es tiempo en seg.

H es altura de caída en cm.

Esta ley es válida, por supuesto, con ciertas condiciones de cuya existencia en la práctica depende la mayor o menor aproximación obtenida.

Se entiende por diámetro de una partícula, el de una esfera que caiga con la misma velocidad que la partícula, en un fluido dado.

Métodos para el análisis de sedimentos de partículas pequeñas.-

Como punto de división del tamaño de las partículas en grandes y pequeñas se ha elegido, la partícula de 1/16 mm. de diámetro. Se justifica esta elección, por el hecho de que, aproximadamente, este tamaño forma el punto de división entre arena y sedimento, es la cota superior de los tamaños de partículas que se depositan de acuerdo con la Ley de Stokes, es la cota inferior de las partículas que pueden ser determinadas por cedazos, es la cota superior de las partículas que se encuentran con distribución relativamente uniforme en las corrientes de agua, es la cota inferior de las partículas <sup>que</sup> generalmente se encuentran en grandes cantidades en el lecho de las corrientes de agua, y es la cota superior de las partículas que pueden ser fácilmente tomadas en los muestreadores frecuentemente usados.

Las partículas pequeñas son analizadas utilizando su asentamiento de agua y - las grandes por otro método, siendo lo más corriente el uso de cedazos. Esto se debe a que las altas velocidades de asentamiento de las partículas grandes, no pueden ser medidas con suficiente aproximación en la mayoría de los aparatos de sedimentación.

En efecto, aun para tamaños de cerca de 1/16 mm. la velocidad de caída es demasiado rápida para trabajos de precisión con algunos de los métodos usados. Debido a que un gran número de sedimentos contiene una extensa variedad en tamaños de partículas y ningún método da resultados satisfactorios para el análisis de toda la gama de tamaños, se acostumbra dividir la muestra en fracciones gruesas y finas y analizarlas separadamente. El punto de separación aconsejable en cada caso es función de los datos deseados y el equipo disponible. La separación por el cedazo de 200 mallas (0.074 mm.) ha sido la más usada porque este es el cedazo más fino con resultados satisfactorios.

Métodos.- Ya que los sedimentos se encuentran en suspensión en un medio acuoso, un método de separación basado en la caída de las partículas en ese medio es no sólo

lo más práctico, sino que a la vez ofrece la ventaja de mantener las partículas en su estado natural. De importancia práctica en la ingeniería es también la expresión del tamaño en relación con la velocidad de caída. Por estas consideraciones los análisis de sedimentos finos son realizados casi exclusivamente por métodos basados en las velocidades de asentamiento. La Ley de Stokes que establece, que la velocidad de caída debida a la gravedad es proporcional al cuadrado del dímetro, ha sido usada en casi todos los métodos de sedimentación. La excepción es el método de centrifugación, en el que la fuerza de asentamiento es función de la velocidad de rotación y de la distancia al eje de rotación.

El uso de microscopios para la medida directa del tamaño, ha sido reemplazado por el uso de los métodos de sedimentación, ya que estos son más rápidos. Su aplicación se ha reducido al chequeo de los otros métodos y a algunos estudios especiales, con baja concentración.

Los métodos y aparatos, son numerosos. Los más importantes son:

- a) Decantación.
- b) Separación por corrientes ascendentes de agua.
- c) Separación por corrientes ascendentes de aire.
- d) Sedimentación acumulativa.
- e) Sedimentación fraccional.
- f) De pipeta.
- g) De hidrómetro.
- h) De manómetro.
- i) De plomada.
- j) Centrifugación.
- k) Optico.

Como resultado de una extensa revisión de los métodos más usados en el análisis del tamaño de partículas de sedimentos finos, se ha llegado a la conclusión que se reproducen a continuación.

En el diseño del equipo se deben tener en cuenta los siguientes límites:

- a) Diámetro mínimo de la columna de sedimentación. 2 cms.
- b) Máxima concentración de sedimento. 2 %
- c) Aproximación en el control de temperatura. 0,5° C.
- d) Agua destilada como medio de suspensión.

La concentración de la suspensión, así como la gama de tamaños de partículas, influyen en la elección del método a usar.

La conclusión general es que, aún cuando hay varios métodos satisfactorios utilizables para altas concentraciones no hay un método rápido y eficaz para análisis en gran escala de muestras de sedimentos de baja concentración. Probablemente el método más satisfactorio, al presente, para bajas concentraciones, en el de decantación, pero tiene las desventajas de ser laborioso y requiere grandes cantidades de agua.

#### Análisis de sedimentos de partículas gruesas.-

Para el análisis de partículas gruesas hay tres tipos de métodos:

- a) Métodos de medición directa, con calibradores del diámetro y volumen de las partículas. Generalmente se aplica a partículas de diámetro superior a 16 mm.
- b) Análisis por cedazos. Este método tiene una gran aplicación, debido al enorme adelanto logrado en la fabricación de cedazos de gran aproximación y eficacia. El más fino es de 200 mallas, con aberturas de 0.074 mm. Los de menores aberturas han dado resultados algo dudosos.
- c) Métodos basados en la velocidad de caída en agua. Estos han tenido poco desarrollo.

#### Curva de Oden.-

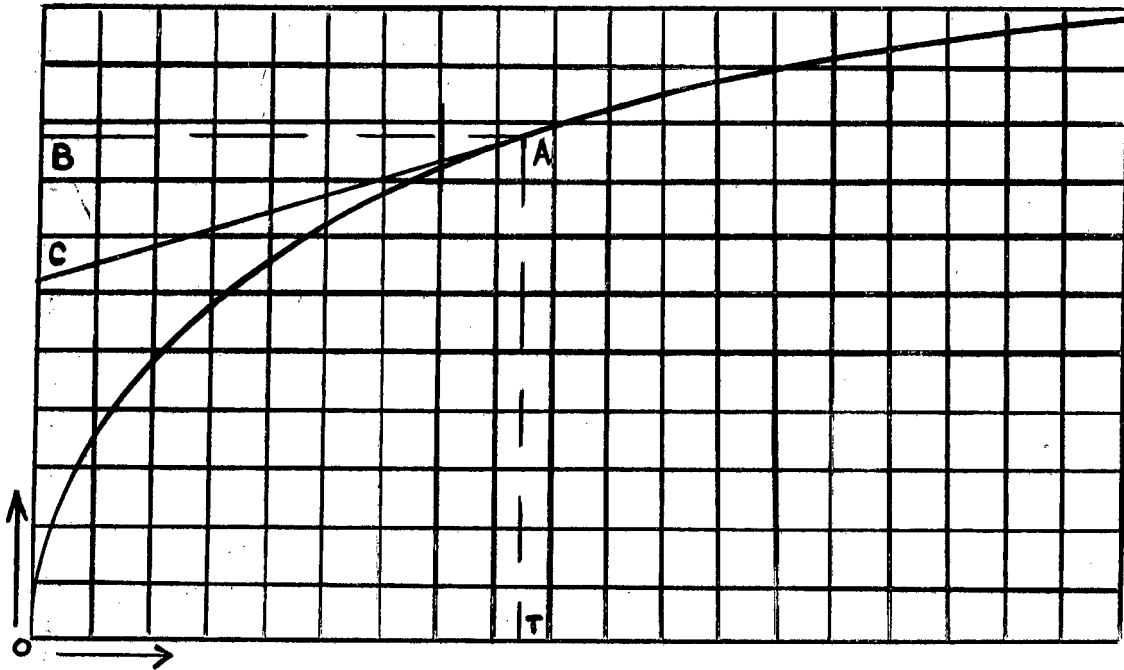
El doctor Sven Oden desarrolló una teoría sobre las suspensiones en dispersión uniforme, y cuya interpretación gráfica es la llamada Curva de Oden, que permite para diversos tiempos se determine el peso de sedimentos acumulados en el fondo de un recipiente.

La curva de Oden (Fig. 1-3) se traza tomando los tiempos en minutos como abscisas

y los porcentajes en peso de sedimento acumulado como ordenada. Esta curva permite obtener las cantidades de partículas de diferentes tamaños, como se verá.

La cantidad de partículas por unidad de tiempo que se depositan en un instante dado, viene dada por la pendiente de la tangente a la curva en el punto correspondiente a dicho instante. Las partículas que se depositan en un instante  $T$ , son de un diámetro  $d$ , igual o menor que los diámetros de las partículas que se han depositado durante el tiempo representado  $OT$ .

FIGURA 1-3



Por tanto, la pendiente de la  $tg CA$ , a la curva en  $T$ , da la cantidad  $(c)$  de partículas de tamaño  $d$  ó menor que  $d$ , que se depositan por unidad de tiempo en el instante  $T$ , siendo  $d$  el diámetro de las partículas que caen desde la superficie hasta el fondo en el tiempo representado por  $OT$ ; y como  $(c)$  es constante desde el comienzo hasta que las partículas  $d$  que caen desde la superficie hayan alcanzado el fondo, esta  $c$  representará también la cantidad de partículas que se depositan por unidad de tiempo durante todo el período de tiempo  $OT$ . Ya que el tiempo transcurrido es  $OT = BA$ , el peso acumulado de partículas de tamaños  $d$  y menores, durante ese tiempo, está representado por el peso correspondiente a  $CB$ . - Siendo  $OB$  el peso total de partículas de todos los tamaños que se han depositado-

en el tiempo T, el peso de partículas mayores que d que se han depositado será la diferencia entre OB y CB o sea OC. Pero como todas las partículas d están en la base al transcurrir el tiempo T y por tanto lo estarán también todas las partículas mayores que d, la cantidad OC representa entonces el peso total de sedimentos de tamaño mayor que el de las partículas de diámetro d.

En conclusión, para encontrar el peso de la fracción de sedimentos compuesta de partículas de diámetro mayor que uno dado d, basta con conocer el tiempo que emplea una partícula de este diámetro d en caer desde la superficie hasta la base del recipiente y dibujar una tangente a la curva de Oden en el punto cuya abscisa representa este tiempo. La distancia correspondiente a OC en la figura representa el peso deseado.

#### Bottom Withdrawal Tube.-

Este procedimiento consiste en dispersar el material a ensayar en un tubo de 48" de longitud y diámetro 1"; el extremo inferior tiene 1/4" de diámetro interior y termina en un tubo de goma de 2" de largo, con una llave de presión. El tubo se coloca en posición vertical y se toman fracciones de determinados volúmenes abriendo la llave de presión a intervalos de tiempo previamente seleccionados. Con los datos de volumen y tiempo se construye una curva de Oden, pero en el tubo la altura de caída es variable, por disminuir a medida que se sacan las muestras, siendo necesario transformar los datos a resultados equivalentes en los que la altura de caída sea constante. Lo que se ha logrado por un artificio que consiste en considerar la cantidad de sedimentos en suspensión, en lugar de la cantidad de sedimentos depositados.

El alcance del método es de 1,0 a 0,001 mm. con relación al tamaño de las partículas y de 300 a 10.000 ppm. en cuanto a concentración. El método puede ser utilizado para análisis en gran escala asegurando varios tubos a un soporte y moviendo éste para lograr la dispersión uniforme en todos los tubos a un mismo tiempo.

#### ✓ Análisis de las muestras.-

Al llegar la muestra al laboratorio esta es ordenada de acuerdo al siguiente

criterio: muestra de la margen derecha, central e izquierda. Cada una de estas se agita cuidadosamente, separando 100 cc. del líquido que serán depositados en una de las probetas graduadas y con ayuda de un cilindro graduado de 500 cc. y teniendo cuidado de agitar varias veces la muestra se medirá los 400 restantes. Enjuáguese esta última botella y pásese a ella el volumen determinado.

El primer líquido se utilizará para obtener los datos por volumen y el segundo para los de peso.

El líquido de la probeta graduada y el de la botella quedarán en reposo por un período de 24 a 48 horas, tiempo que se considera suficiente para que los sedimentos en suspensión se depositen en el fondo.

Debido que la botella usada para la toma de la muestra es de vidrio, esto trae como consecuencia a veces la ruptura de una de ellas y por lo tanto la pérdida de la misma, presentándose el caso de una determinación inexacta de volumen y peso de sedimento. Con el objeto de subsanar este problema sería conveniente usar botellas de un material más resistente, como el plástico, y que a la vez tendría la ventaja de poder grabar en una de sus caras una escala graduada facilitando de esa manera el trabajo tanto de campo como de laboratorio.

Después de transcurrido el tiempo antes mencionado se procede como sigue: la lectura correspondiente a la probeta graduada, representa el porcentaje en volumen y se anota en la planilla de la forma S-3.

Análisis por peso.- El método consiste en separar el sedimento del agua por el método de decantación, extrayendo el agua por medio de un tubo de goma, con la ayuda de una pera de hule, procurando dejar una pequeña cantidad de agua en la botella para evitar la extracción del sedimento, pasándolo después a una cápsula de porcelana que previamente halla sido pesada en la balanza de precisión al miligramo.

Como al hacer esto último quedan en la botella pequeñas cantidades de sedimento, es necesario poner a esta una pequeña cantidad de agua limpia y vaciarla nuevamente a la cápsula repitiendo la operación varias veces.

A continuación se lleva la cápsula al horno y se somete a una temperatura de -

80° C, debe tenerse especial cuidado de que no se exceda a esta temperatura debido a que se puede producir la calcinación del sedimento, para obtener la evaporación del agua. Una vez evaporada el agua se hace una segunda pesada con todo y sedimento. La diferencia entre el peso de la capsula con sedimento y el peso de la capsula sola nos da el peso del sedimento.

Para asentar estas cantidades se utilizan las planillas S-4 y S-5. En el lugar correspondientes se anota la relación del peso de la muestra entre el volumen.

El volumen observado en la probeta graduada corresponde a sedimentos saturados mientras que el volumen por peso corresponde a sedimentos más o menos compactados, por lo que son diferentes.

En el caso del muestreo superficial el valor del porcentaje buscado será igual a la media aritmetica de las tres determinaciones multiplicada por el 1,1.

Se hace necesario para evitar confusiones que se enumeren las cápsulas y se pongan en un tablero como el de la figura 2-3.

Nota.- Metodo descrito en el "Instructivo para estudios de azolves".

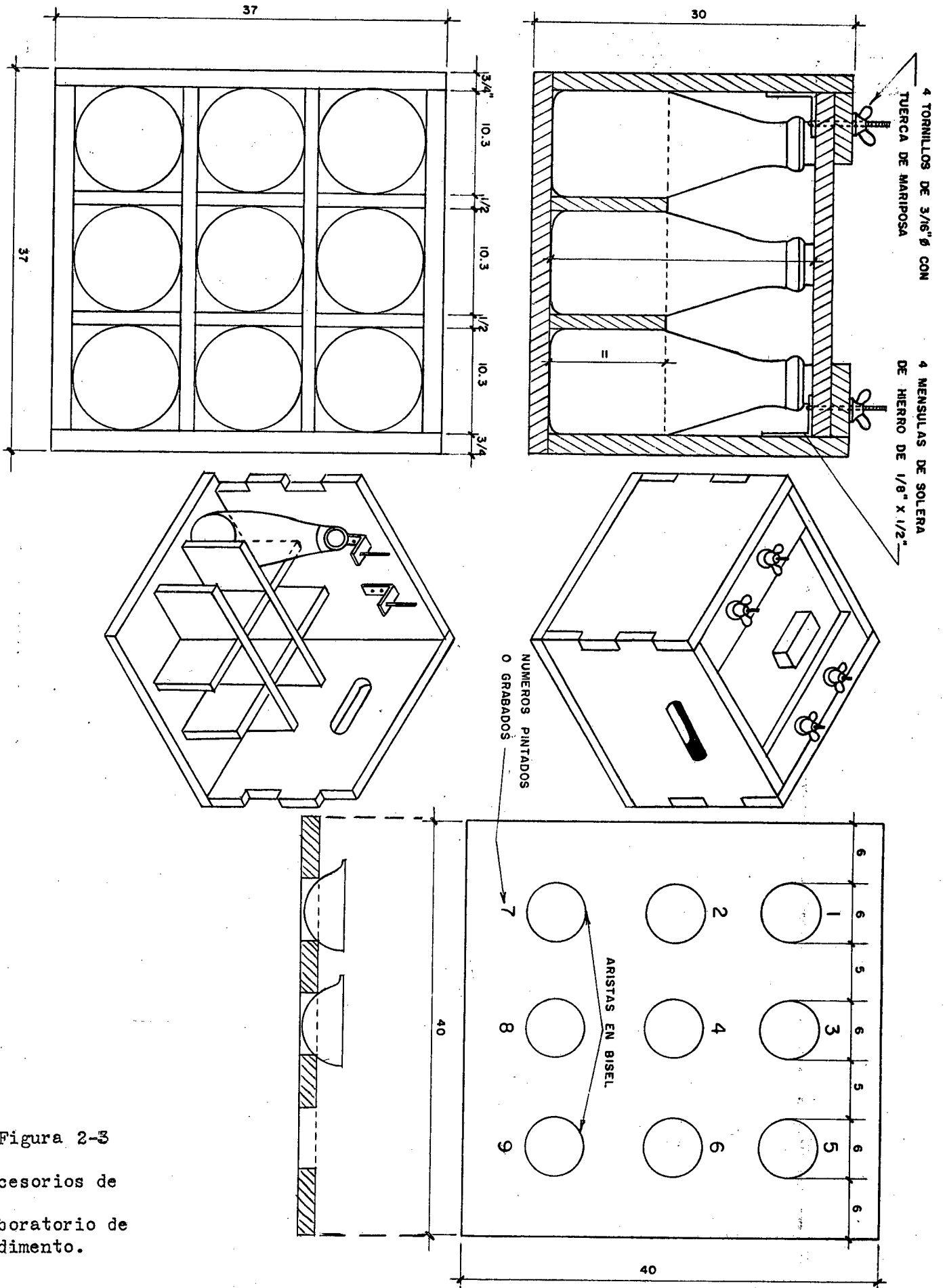


Figura 2-3  
 Accesorios de  
 Laboratorio de  
 Sedimento.

MOD. S-4 (fig. 3-3)

Muestreo de Sedimentos N° \_\_\_\_\_

HORA: de las \_\_\_\_\_ a las \_\_\_\_\_ Lectura media de mira \_\_\_\_\_

Afora N° \_\_\_\_\_ Gasto \_\_\_\_\_ M.C.P.S. Observador \_\_\_\_\_

Se tomaran 100 c.c. de cada muestra en la probeta especial, dejando reposar el liquido durante 24 horas.

En este registro se anotaran las lecturas correspondientes que indiquen los porcentos de sedimentos en volumen.

MUESTREO TOTAL

	SUPERFICIAL	FONDO	PROMEDIO PARCIAL
DERECHA			
CENTRAL			
IZQUIERDA			
		SUMAS	
		PROM. GRAL.	

MUESTREO SUPERFICIAL

MUESTRAS	LECTURAS
DERECHA	
CENTRAL	
IZQUIERDA	
SUMA	
PROMEDIO	

PORCIENTO GENERAL \_\_\_\_\_ X PROMEDIO:

MOD. S-5(Fig. 4-3)

Muestreo de Sedimento N° \_\_\_\_\_

Hora: De las \_\_\_\_\_ a las \_\_\_\_\_ Lecturas media de mira \_\_\_\_\_

Aforo N° \_\_\_\_\_ Gastos \_\_\_\_\_ m.c.p.s. Observador \_\_\_\_\_

	Peso de las Muestra (En gramos y fracción)		
	DERECHA	CENTRAL	IZQUIERDA
Capsula con sedimentos			
Capsula sola			
Peso de los sedimento			

CALCULOS DE LAS RELACIONES (W/V) EN PPM.

DERECHA	$\frac{W}{V} =$ _____		
CENTRAL	$\frac{W}{V} =$ _____		
IZQUIERDA	$\frac{W}{V} =$ _____		
	S U M A		
	P R O M E D I O		

W, Peso de los sedimentos de cada Muestra  
V, Volumen de cada muestra en C.C.

#### CAPITULO IV.

Métodos para la evaluación de sedimentos en corrientes naturales.- Método Usual. Método de Interpolación ó Estadístico. Método de las Curvas de Duración de Gastos-Sedimentación. Aplicación.

En este capítulo se trata de hacer un breve análisis de los métodos existentes para la evaluación de Sedimentos en corrientes naturales.

En los dos primeros, me limitaré hacer referencias a los pasos a seguir para el cálculo de los mismos y comentarios ó críticas sobre ellos.

Para el método de las Curvas de Duración de Gastos-Sedimentación, además de hacer referencia a pasos a seguir para su aplicación, ilustraré con un ejemplo para su mayor comprensión.

#### Método Usual.-

Para la aplicación de este método se procede de la manera siguiente:

- 1) Con los niveles registrados por el fluviógrafo en la estimación de aforos, se puede obtener los gastos mediante una línea promedio de las alturas alcanzadas por el río durante las diferentes horas del día.
- 2) De la "Tabla de Aforos y Muestreo de Sedimentación", se toman los valores de altura de río y sus correspondientes gastos instantaneos para la elaboración de la curva de gasto del río, la cual se construye posteriormente en papel logarítmico y transformado la curva a recta.
- 3) Se elabora una curva de % de sedimentación con absisa y gasto en  $m^3/\text{seg.}$  como ordenada, con los datos de campo.
- 4) Para la elaboración de la "Tabla de Gasto y de sus Productos por los % de Sedimento", se procede de la forma siguiente; el valor de "Q" se busca en la curva de gasto del río de acuerdo a las alturas del río, con este valor de "Q" se entra en la curva de sedimentación y se halla un valor que multiplicado por

( el valor del

gasto encontrado nos dará el valor de "S" que nos pide la tabla.

5) Luego se pasa a elaborar los cuadros de "Gasto y Esgurrimento Mensual", en la forma siguiente: según la tabla de aforos se tiene un gasto y una altura de mira correspondiente, pero buscando en la "Tabla de Gasto y de sus Productos por % de Sedimento", este gasto se observa que le corresponde un valor distinto de altura de mira, se saca la diferencia entre el segundo valor de altura de mira encontrado y el primero, este valor que, opera como una corrección se le añade o se le resta, según el signo, al valor del nivel medio de la "Tabla de Gasto y Esgurrimento", y se tendrá un nuevo nivel corregido que buscado en la "Tabla de Gasto y de sus Productos por % de Sedimento", resultará un valor del gasto y de su correspondiente sedimentación que serán estos valores los que se anoten en la "Tabla de Esgurrimento y Gasto".

Por sumas se puede encontrar los valores del esgurrimento y sedimentación para un determinado mes o año.

El volumen se puede calcular, multiplicando cada gasto por 86.400 seg.; el valor del esgurrimento se encuentra dividiendo el volumen entre el área de la hoja del río.

Finalmente, el valor del acarreo se puede obtener multiplicando el valor de la sedimentación en el mes por 86.400 seg. y dividiendo entre  $10^6$ .

#### Método de Interpolación.-

Este método muy utilizado en Estados Unidos de México, para poder ser aplicado, se deben cumplir con los siguientes requisitos:

- 1.-Debe existir un número máximo de muestreos, si es posible diario.
- 2.-Las variaciones del caudal del río deben ser lentas.

Según ~~est~~ estos dos requisitos, este método en nuestro país debe ser aplicado en forma de ensayo.

El proceso a seguir es el siguiente: 1.-Con los aforos, se obtiene el gasto y mediante análisis de laboratorio se determina el % de sedimento.

2.-Aquellos días en que no se practicaron aforos, los gasto deben ser obteni-

dos mediante interpolación entre los valores conocidos.

3.-Al multiplicar los porcentajes en peso por los correspondientes gastos se obtiene la cantidad de sedimento.

4.-Conocida la cantidad de sedimento transportado en peso, se puede determinar el volumen si se conoce el valor de la densidad del sedimento. Generalmente este valor oscila entre 1,12 y 1,15 Ton./m<sup>3</sup>.

5.-Se procede al cálculo de la "Tabla de Estimación de las Cargas de Sedimento en Suspensión Acarreados", que opera como una tabla de resumen anual.

Esta tabla se calcula de esta forma:

Para obtener el valor de la columna (1) se multiplica el gasto por 86.400 y se divide entre 10.000 para obtener en ham.

El valor de la columna (2) se obtiene dividiendo la columna (3) entre la (1).

La columna (3) se obtiene de las "Tablas de Gasto y Escurrimiento".

La columna (4) se obtendrá de dividir el valor mensual de la columna (3) entre la Densidad del sedimento.

El cálculo de la "Tabla de Estimación de las Cargas de Sedimento en Suspensión Acarreados", es el último paso común para los dos métodos ya que como dije anteriormente esta trabaja como una tabla de resumen anual.

Analizando el Método Usual se hace necesario formular las siguientes críticas:

a) Las curvas de Sedimentación no se define muy bien usando la relación Gasto Porcentaje en peso de sedimento, sería conveniente investigar si se podría adoptar el sistema de Gasto-Sedimentación en Ton/día, ya que podría quedar mejor definida.

b) El método de la forma así concebido se hace muy largo en su aplicación.

Con respecto al Método de Interpolación se puede decir: su aplicación en el país no es recomendable debido al requisito (1); y es por ello que se puede considerar como poco exacto ya que en los días en que no hubo aforo, estos se deben sacar por interpolación, recurriendo en error que afectaría el resultado final.

Método de las Curvas de Duración de Gastos-Sedimentación.-

Este método está basado en estudios hechos por el Ingeniero Miller, en los ríos San Juan y San Rafael (E.E. U.U.).

Según el Dr. Miller, los datos básicos tienen que cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Ser de una corriente donde los resultados del muestreo, aparentemente, no se relacionen con la descarga de agua.
- b) Ser de una corriente que haya sido muestrada por un período largo de tiempo, en algún punto de ella.
- c) Ser de una corriente donde los datos del flujo también hayan sido obtenidos durante un largo período.

Este método permite hacer con bastante aproximación estimaciones de acarreo medios para un largo período, usando la curva de sedimentación de un año cuyo GASTO MEDIO SEA MAYOR QUE EL 90% DEL GASTO PROMEDIO DEL PERIODO YA CITADO. Este punto es requisito indispensable para la aplicación del método. ✓

Las curvas de determinación de sedimento deben ser trazadas para cada año, ya que se considera que un año es el período mínimo necesario para definir una curva válida.

Cuando se calcula la carga de sedimento basándose en una curva para determinación de sedimentos correspondiente a un año "húmedo" y a una curva de gasto para largo plazo, el valor obtenido probablemente es más bajo que el normal. En otras palabras, la concentración de sedimento es mayor en un año "seco" que en un año "húmedo".

Procedimiento..- Los pasos a seguir para la aplicación del método, son los siguientes:

1.-Se obtiene el valor del gasto de las tablas de Aforos y el de % de sedimento de los datos del laboratorio y se anota en la planilla 4-1.

2.-Partiendo del criterio de que "1 m<sup>3</sup> de agua al tener 86.400 ton. de sedimento por día equivale al 100% de concentración", se traza en papel logarítmico las líneas llamadas de isoporcentaje, ya que con ellas se puede estimar la concen-

tración de sedimento en el río.

3.-Posteriormente se elabora la curva de sedimentación, ploteando los valores del Gasto en m<sup>3</sup>/seg. como ordenada y sedimento en Ton./día como absisa. Valores estos sacados de la planilla 1-4.

4.-Se realiza los computos de duración de Gasto, mediante las Tablas de Escurrimiento (Tabla 4-2).

5.-Con los valores de límites superior del intervalo (columna 1) contra % del tiempo con Q igual ó menor al indicado (columna 5 se traza la curva de duración.

6.-El último paso es el cálculo de la planilla 4-3 (DH-S 5), en el cual se observa en su columna N°1, "LIMITES %", una serie de valores que son fijos, estos operan como incrementos dados de la descarga de agua en las curvas de duración.- Por diferencia entre estos valores se obtiene el valor de la columna N°2 y la columna N°3 es la media de los valores de la columna N°1, por ello su nombre. Estos valores de la ORD.MEDIA se adaptan de una forma muy aceptable al papel de Probabilidades Logarítmica, que es el que se utiliza para trazar la curva de Duración.

Entrando en la margen superior del papel con los valores de la ordenada media se obtiene los Gastos correspondientes. Con estos "Q" se entra en la curva de sedimentación y se obtiene el correspondiente valor del sedimento. Las columnas 6 y 7 se explican por sí solas.

Para la mejor comprensión de este método, lo he aplicado para el Río Portuguesa en Puente Portuguesa para el período 1-4-61 a 31-3-62. Se escogió este río ya que se adapta en una forma muy aceptable a los requisitos exigidos por el método; así se observa que los registros son diarios, además el Gasto medio para el año en estudio es mayor que el 90% del gasto promedio del largo período, que para este caso es de 5 años.

Las planillas de calculo utilizadas en este método son copiadas del M.O.P.

T A B L A D E G A S T O Y E S C U R R I M I E N T O

Estas tablas trae todos los meses del año y el calculo hay que hacerlo para cada mes. Aqui se representa un modelo de uno de los meses, ya que como es de supones los demas meses son identicos.

A B R I L				
Dia	Nivel Medio	Corrección	Gasto m <sup>3</sup> /seg	Sedimentación en ton/seg
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
S U M A S				
P R O M E D I O				
P O R C E N T A J E M E D I O P E S A D O				
V O L U M E N				
A C A R R E O				
E S C U R R I M I E N T O				
G A S T O M A X I M O				
G A S T O M I N I M O				





TABLA DE ESTIMACION DE LAS CARGAS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION ACARREADOS

Rio \_\_\_\_\_

Año \_\_\_\_\_

Sitio \_\_\_\_\_

Estación \_\_\_\_\_

Meses	Volumenes de agua escurridos en ham.	Porcentaje compensado en pesos	Acarreo total de sedimentos en miles de T.	Vol. Total de acarreo deducido en miles de m <sup>3</sup>
	(1)	(2)	(3)	(4)
ABRIL				
MAYO				
JUNIO				
JULIO				
AGOSTO				
SEPTIEM.				
OCTUBRE				
NOVIEMB.				
DICIEMB.				
ENERO				
FEBRERO				
MARZO				
TOTALES				

Aplicación del Método de "LAS CURVAS DE DURACION DE

GASTOS - SEDIMENTACION

Río Portuguesa  
Estación Puente Portuguesa  
Estado Portuguesa  
Area de la cuenca 765 km<sup>2</sup>  
Año climatico 1/4/61 - 31/3/62  
Tipo de registros de niveles Fluviografo

PLANILLA 4-1

RESUMEN DE SEDIMENTACION

Río Portuguesa Estación Puente Portuguesa Año Climático 1.961 - 1.962

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N° de la Muestra	Fecha	Altura de Mira	Gasto m <sup>3</sup> /seg	% de Sedimento	Ton x 100 Seg	Ton/día
1	Abril 6	0,18	1,89	0,004	0,0076	6,57
2	7	"	"	0,004	0,0076	6,57
3	10	"	"	0,003	0,0057	4,92
4	11	"	"	0,003	0,0057	4,92
5	13	"	"	0,002	0,0038	3,28
6	14	"	"	0,002	0,0038	3,28
7	15	"	"	0,002	0,0038	3,28
8	18	"	"	0,002	0,0038	3,28
9	20	"	"	0,001	0,0019	1,64
10	21	"	"	INAP.	0,0000	0,00
11	22	"	"	0,016	0,0302	26,09
12	23	"	"	0,004	0,0076	6,57
13	24	"	"	0,002	0,0038	3,28
14	5 - 9	0,22	3,01	0,001	0,0030	2,59
15	10	0,22	3,01	0,001	0,0030	2,59
16	11	0,22	3,01	0,002	0,0060	5,18
17	12	0,39	9,42	0,028	0,2638	227,92
18	13	0,26	4,29	0,006	0,0257	22,20
19	15	0,23	3,32	0,003	0,0100	8,64
20	16	0,23	3,32	0,001	0,0033	2,85
21	17	0,23	3,32	0,002	0,0066	5,70
22	18	0,23	3,32	0,002	0,0066	5,70
23	24	0,915	44,3	0,591	26,1813	22620,64
24	25	0,44	11,8	0,033	0,3894	336,44
25	26	0,255	3,79	0,006	0,0227	19,61
26	29	0,175	1,76	0,002	0,0035	3,02
27	30	0,175	1,76	0,002	0,0035	3,02
28	31	0,465	13,0	0,030	0,3900	336,96
29	6 - 1	0,64	23,2	0,307	7,1224	6153,75
30	2	0,50	14,8	0,024	0,3552	306,89
31	6	0,275	4,80	0,002	0,0096	8,29
32	7	0,26	4,29	0,004	0,0172	14,86
33	9	1,205	73,6	0,251	18,4736	15961,19
34	10	0,81	35,5	0,045	1,5975	1380,24
35	12	1,725	150,0	0,364	54,6000	47174,40
36	13	1,62	132,0	0,293	38,6760	33416,06
37	14	1,10	62,1	0,078	4,8438	4185,04
38	16	1,50	113,0	0,420	47,4600	41005,44
39	17	1,02	54,0	0,080	4,3200	3732,48
40	18	0,91	43,8	0,027	1,1826	1021,77

C = 5.4  
 T = 6.864

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N° de la Muestra	Fecha	Altura de Mira	Gasto m <sup>3</sup> /seg	% de Sedimento	Ton x 100 / Seg	Ton/día
41	6 - 19	0,78	33,1	0,018	0,5958	514,77
42	20	1,05	56,9	0,122	6,9418	5997,72
43	21	1,30	85,1	0,165	14,0415	12131,86
44	22	1,04	55,9	0,046	2,5714	2221,69
45	23	0,96	48,3	0,035	1,6905	1460,59
46	24	0,925	45,1	0,028	1,2628	1091,06
47	25	1,08	60,0	0,071	4,2600	3680,64
48	26	1,03	54,9	0,043	2,3607	2039,64
49	28	0,87	40,4	0,012	0,4848	418,87
50	29	0,805	35,1	0,007	0,2457	212,28
51	30	0,745	30,5	0,008	0,2440	210,82
52	7 - 1	0,74	30,1	0,005	0,1505	130,03
53	4	0,78	33,1	0,008	0,2648	228,79
54	6	0,80	34,7	0,013	0,4511	389,75
55	7	0,98	50,1	0,140	7,0140	6060,10
56	8	0,88	41,2	0,023	0,9476	818,73
57	9	0,775	32,7	0,008	0,2616	226,02
58	10	1,150	67,4	0,095	6,4030	5532,19
59	11	1,000	52,0	0,034	1,7680	1527,55
60	12	0,910	43,8	0,017	0,7446	643,33
61	13	0,80	44,7	0,017	0,5899	509,67
62	14	2,25	265,0	0,822	217,83	188205,12
63	15	1,15	67,4	0,059	3,9766	3435,78
64	16	1,03	54,9	0,028	1,5372	1328,14
65	17	1,24	77,6	0,108	8,3808	7241,01
66	18	1,145	66,8	0,044	2,9392	2539,47
67	19	1,11	63,1	0,033	2,0823	1799,11
68	20	1,05	56,9	0,019	1,0811	934,07
69	21	1,87	176,0	0,473	83,2480	71926,27
70	22	1,47	108,0	0,166	17,9280	15489,79
71	23	1,295	84,4	0,101	8,5244	7365,08
72	25	1,01	53,0	0,030	1,5900	1373,76
73	26	0,94	46,5	0,034	1,5810	1365,98
74	27	0,875	40,8	0,020	0,8160	705,02
75	28	0,91	43,8	0,019	0,8322	719,02
76	29	0,92	44,7	0,017	0,7599	656,55
77	31	0,94	46,5	0,030	1,3950	1205,28
78	8 - 1	1,05	56,9	0,039	2,2191	1917,30
79	2	1,49	116,0	0,303	33,6330	29058,91
80	3	2,62	372,0	0,625	232,5000	200880,00
81	5	1,42	100,0	0,156	15,6000	13478,40
82	6	1,98	200,0	0,686	137,2000	118590,80
83	7	1,32	87,6	0,086	7,5336	6509,03
84	8	1,18	70,8	0,074	5,2392	4526,67
85	9	1,13	65,2	0,053	3,4556	2985,64
86	10	1,02	54,0	0,059	3,1860	2752,70
87	11	1,01	53,0	0,035	1,8550	1602,72
88	13	1,35	91,6	0,070	6,4120	5539,97
89	14	1,28	82,5	0,085	7,0125	6098,80
90	15	1,14	66,3	0,039	2,5857	2234,04

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N° de la Muestra	Fecha	Altura de Mira	Gasto m <sup>3</sup> /seg	% de Sedimento	Ton x 100 Seg	Ton/día
91	8 - 16	1,08	60,0	0,045	2,700	2332,80
92	17	1,01	53,0	0,017	0,901	778,46
93	19	1,19	71,9	0,095	6,230	5901,55
94	20	1,10	62,1	0,053	3,291	2843,68
95	21	0,96	48,3	0,021	1,014	876,36
96	22	0,92	44,7	0,018	0,805	695,17
97	23	0,84	37,9	0,020	0,758	654,91
98	24	1,11	63,1	0,103	6,499	5615,40
99	25	1,72	149,0	0,345	51,405	44413,92
100	26	1,02	54,0	0,057	3,078	2659,39
101	27	0,84	37,9	0,014	0,530	458,44
102	29	0,72	28,7	0,018	0,516	446,34
103	30	0,86	39,5	0,032	1,264	1092,10
104	31	0,70	27,3	0,015	0,409	353,81
105	9 - 2	0,87	40,4	0,053	2,141	1850,00
106	3	0,84	37,9	0,019	0,720	622,17
107	4	0,86	39,5	0,032	1,264	1092,10
108	5	0,78	33,1	0,027	0,893	772,16
109	6	0,71	28,0	0,010	0,280	241,92
110	7	1,11	63,1	0,088	5,553	4797,62
111	8	1,09	61,0	0,055	3,355	2898,72
112	9	0,90	42,9	0,020	0,858	741,31
113	10	0,84	37,9	0,014	0,531	458,44
114	11	0,78	33,1	0,007	0,231	200,19
115	12	0,75	30,9	0,006	0,185	160,19
116	13	1,01	53,0	0,166	8,798	7601,47
117	14	0,79	33,9	0,008	0,271	234,32
118	15	0,77	32,4	0,010	0,324	279,94
119	16	0,85	38,7	0,038	1,471	1270,60
120	17	0,78	33,1	0,015	0,497	428,98
121	18	0,75	30,9	0,012	0,371	320,37
122	19	0,68	25,9	0,012	0,311	268,53
123	20	1,05	56,9	0,062	3,528	3048,02
124	21	0,88	41,2	0,032	1,318	1139,10
125	22	0,79	33,9	0,012	0,407	351,48
126	23	0,75	30,9	0,008	0,247	213,58
127	24	0,88	41,2	0,029	1,195	1032,31
128	25	0,78	33,1	0,008	0,265	228,79
129	26	0,72	28,7	0,013	0,373	322,36
130	27	0,68	25,9	0,007	0,181	156,64
131	28	0,69	26,6	0,006	0,159	137,89
132	29	0,77	32,4	0,011	0,356	307,93
133	10 - 1	0,79	39,9	0,053	2,115	1827,10
134	2	0,91	43,8	0,019	0,832	719,02
135	4	0,77	32,4	0,009	0,292	251,94
136	5	0,80	34,7	0,030	1,041	899,42
137	6	0,71	28,0	0,017	0,476	411,46
138	8	0,64	23,2	0,008	0,186	160,36
139	9	0,60	20,7	0,008	0,166	143,08
140	10	0,56	18,3	0,009	0,165	142,30

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N° de la Muestra	Fecha	Altura de Mira	Gasto m <sup>3</sup> /seg	% de Sedimento	Ton Seg x 100	Ton/día
141	10-13	0.61	21.3	0.017	0.3621	312.85
142	14	0.65	23.9	0.019	0.4541	392.34
143	19	0.85	32.7	0.018	0.6966	601.86
144	16	0.78	33.1	0.022	0.7282	629.16
145	20	0.94	46.5	0.021	0.9765	843.70
146	23	1.28	32.5	0.107	8.8275	7626.96
147	23	1.27	31.2	0.104	8.4448	7296.31
148	24	1.28	32.5	0.061	5.0325	4348.08
149	25	1.24	171.0	0.091	15.5610	13444.70
150	26	1.41	99.4	0.173	17.1962	14857.52
151	27	1.10	62.1	0.052	3.2292	2790.03
152	29	0.98	50.1	0.026	1.3026	1125.45
153	30	0.91	43.8	0.009	0.3942	340.59
154	31	0.95	47.4	0.183	3.6742	7494.51
155	11-1	0.98	50.1	0.115	5.7615	4977.94
156	2	1.10	62.1	0.119	7.3899	6384.87
157	3	0.97	49.2	0.072	3.5424	3060.63
158	4	0.95	47.4	0.068	2.7492	2375.31
159	6	0.79	33.9	0.017	0.5763	497.52
160	9	0.71	28.0	0.018	0.5040	435.46
161	10	0.92	44.7	0.083	3.7101	3205.53
162	11	0.82	36.3	0.037	1.3431	1160.44
163	13	0.88	41.2	0.036	1.4832	1281.48
164	14	0.80	34.7	0.020	0.6940	599.62
165	15	0.77	32.4	0.011	0.3564	307.93
166	16	0.72	28.7	0.012	0.3444	297.56
167	17	0.68	25.9	0.007	0.1813	156.64
168	18	0.69	26.6	0.009	0.2394	206.84
169	20	0.62	21.9	0.036	0.1314	113.53
170	21	0.69	26.6	0.014	0.3724	321.75
171	22	0.61	21.3	0.008	0.1704	147.23
172	23	0.59	20.1	0.008	0.1608	139.93
173	24	0.58	19.5	0.006	0.1170	101.09
174	25	0.60	20.7	0.008	0.1656	143.08
175	26	0.59	20.1	0.008	0.1608	138.93
176	27	0.56	18.3	0.004	0.0732	63.24
177	28	0.55	17.7	0.010	0.1770	152.93
178	29	0.53	16.5	0.010	0.1650	142.56
179	30	0.55	17.7	0.007	0.1239	107.05
180	12-1	0.63	22.6	0.005	0.1130	97.63
181	6	0.61	21.3	0.030	0.6390	552.10
182	8	0.57	18.9	0.008	0.1512	130.64
183	9	0.58	19.5	0.006	0.1170	101.09
184	12	0.50	14.8	0.002	0.0296	25.57
185	13	0.49	14.3	0.003	0.0429	37.07
186	14	0.48	13.8	0.005	0.0690	47.61
187	15	0.47	13.3	0.002	0.0266	18.35
188	16	0.46	12.8	0.003	0.0304	26.50
189	18	0.44	11.8	0.002	0.0236	16.28
190	19	0.43	11.3	0.002	0.0226	15.59

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
191	12-22	0,41	10,3	0,002	0,0206	17,80
192	23	0,41	10,3	"	0,0206	17,80
193	26	0,41	10,3	"	0,0206	17,80
194	27	0,41	10,3	"	0,0206	17,80
195	28	0,41	9,87	"	0,0197	17,02
196	30	0,40	8,97	"	0,0179	15,47
197	1-2	0,38	8,10	"	0,0162	14,00
198	3	0,36	8,10	"	0,0162	14,00
199	4	0,36	8,10	"	0,0162	14,00
200	6	0,36	7,68	"	0,0154	13,31
201	8	0,35	7,27	"	0,0145	12,53
202	9	0,34	6,87	0,001	0,0069	5,96
203	10	0,33	6,87	0,002	0,0137	11,84
204	12	0,33	6,47	0,002	0,0129	11,15
205	13	0,32	6,47	0,001	0,0065	5,62
206	16	0,32	6,47	0,001	0,0065	5,62
207	17	0,32	6,47	0,001	0,0065	5,62
208	18	0,32	6,47	0,001	0,0065	5,62
209	19	0,31	8,53	0,002	0,0171	14,77
210	20	0,30	8,10	0,002	0,0162	14,00
211	21	0,33	6,87	0,001	0,0069	5,96
212	22	0,31	6,09	"	0,0061	5,27
213	24	0,30	5,71	"	0,0057	4,92
214	25	0,30	5,71	"	0,0057	4,92
215	26	0,30	5,71	"	0,0057	4,92
216	27	0,30	5,71	"	0,0057	4,92
217	29	0,28	4,98	"	0,0050	3,97
218	30	0,28	4,98	"	0,0050	3,97
219	31	0,27	4,63	"	0,0050	3,72
220	2-1	0,27	4,63	"	0,0046	3,97
221	3	0,26	4,29	"	0,0046	3,46
222	4	0,27	4,63	"	0,0043	3,46
223	6	0,25	3,95	"	0,0040	3,11
224	7	0,25	3,95	"	0,0040	3,11
225	8	0,25	3,95	"	0,0040	3,11
226	9	0,24	3,63	"	0,0040	2,85
227	10	0,24	3,63	"	0,0036	2,85
228	11	0,24	3,63	"	0,0036	2,85
229	12	0,23	3,32	"	0,0036	2,85
230	13	0,23	3,32	"	0,0033	3,11
231	15	0,24	3,63	"	0,0033	2,85
232	16	0,23	3,32	"	0,0033	2,85
233	17	—	—	"	—	—
234	18	0,23	3,32	"	0,0033	2,85
235	20	0,22	3,01	"	0,0030	2,59
236	21	0,22	3,01	"	0,0030	2,59
237	22	0,22	3,01	"	0,0030	2,59
238	23	0,22	3,01	"	0,0030	2,59
239	24	0,23	3,32	"	0,0033	2,85
240	26	0,21	2,72	"	0,0027	2,33
241	27	0,21	2,72	"	"	2,33
242	28	0,21	2,72	"	"	2,33
243	3-2	0,21	2,72	"	"	2,33
244	3	0,21	2,72	"	"	2,33
245	5	0,21	2,72	"	"	2,33
246	7	0,29	5,34	0,002	0,0107	9,24
247	8	0,33	6,87	0,002	0,0137	11,84

T A B L A D E E S C U R R I M I E N T O

Rio: Portuguesa en Pte Portuguesa

(1).-Altura en M.  
(2).-Gasto en m<sup>3</sup>/s.

	A B R I L		M A Y O		J U N I O		J U L I O		A G O S T O	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
1	0,29	5,34	0,22	3,01	0,66	24,5	0,74	30,1	1,11	63,1
2	0,21	2,72	0,23	3,32	0,53	16,5	0,68	25,9	1,40	98,0
3	0,18	1,89	0,22	3,01	0,41	10,3	0,74	30,1	2,30	278,0
4	0,18	1,89	0,22	3,01	0,41	7,27	0,80	34,7	2,10	223,0
5	0,18	1,89	0,22	3,01	0,30	5,71	0,78	33,1	1,51	114,0
6	0,18	1,89	0,22	3,01	0,27	4,63	0,80	34,7	1,45	112,0
7	0,18	1,89	0,22	3,01	0,36	8,10	0,82	36,3	1,38	95,5
8	0,18	1,89	0,22	3,01	1,45	111,0	0,90	42,9	1,21	74,2
9	0,18	1,89	0,22	3,01	1,18	70,8	1,10	57,2	1,15	67,4
10	0,18	1,89	0,22	3,01	0,81	35,5	1,30	86,9	1,05	56,9
11	0,18	1,89	0,22	3,01	1,00	50,5	1,07	58,9	1,02	33,1
12	0,18	1,89	0,39	9,42	1,40	98,0	0,90	42,9	1,25	79,6
13	0,18	1,89	0,25	3,95	1,60	125,0	0,80	34,7	1,32	87,6
14	0,18	1,89	0,23	3,32	1,14	66,3	1,45	113,0	1,29	83,8
15	0,18	1,89	0,23	3,32	0,96	48,3	1,20	73,1	1,18	70,8
16	0,18	1,89	0,23	3,32	1,18	69,0	1,02	54,0	1,08	60,0
17	0,18	1,89	0,22	3,01	1,12	64,2	1,18	68,8	1,03	54,9
18	0,18	1,89	0,23	3,32	0,91	43,8	1,21	74,2	1,07	58,9
19	0,18	1,89	0,22	3,01	0,80	34,7	1,15	67,4	1,10	62,1
20	0,17	1,63	0,25	3,95	1,00	50,7	1,03	54,9	1,09	61,0
21	0,24	3,63	0,23	3,32	1,39	101,0	1,55	132,0	0,99	61,1
22	0,43	11,57	0,23	3,32	1,06	57,9	1,49	111,0	0,91	43,8
23	0,28	4,98	0,23	3,32	0,97	49,2	1,30	85,1	0,85	38,7
24	0,23	3,32	0,76	31,06	0,94	46,5	1,15	67,4	1,10	64,1
25	0,23	3,32	0,53	16,5	1,07	58,9	1,03	54,9	1,20	71,8
26	0,23	3,32	0,28	4,98	1,04	55,9	0,95	47,4	0,99	51,1
27	0,22	3,01	0,20	2,43	0,91	46,5	0,89	42,1	0,84	37,9
28	0,23	3,32	0,18	1,89	0,88	41,2	0,95	47,4	0,77	32,4
29	0,22	3,01	0,17	1,63	0,81	35,5	0,92	44,7	0,73	29,4
30	0,23	3,32	0,18	1,89	0,55	30,9	0,98	50,1	0,79	33,9
31			0,70				1,10	64,0	0,72	28,7

	SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		ENERO		FEBRERO		MARZO	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
1	0,71	28,0	0,70	28,7	1,88	80,8	0,67	25,2	0,37	8,53	0,27	4,63	0,21	2,72
2	0,87	40,4	0,78	33,1	1,06	57,9	0,60	20,7	0,36	8,10	0,27	4,63	0,21	2,72
3	0,86	39,5	0,69	26,6	1,10	58,7	0,57	18,9	0,35	7,68	0,26	4,29	0,20	2,43
4	0,81	35,5	1,00	52,4	0,93	45,6	0,54	17,1	0,36	8,10	0,26	4,29	0,21	2,72
5	0,77	32,4	0,78	33,1	0,86	39,5	0,75	30,0	0,36	8,10	0,26	4,29	0,21	2,72
6	0,72	28,7	0,85	42,7	0,81	38,6	0,61	21,3	0,35	7,68	0,25	3,95	0,22	3,01
7	1,05	55,8	0,77	32,4	0,86	39,5	0,59	20,1	0,34	7,27	0,25	3,95	0,29	5,34
8	1,08	60,0	0,69	26,6	0,74	30,1	0,58	19,5	0,34	7,27	0,24	3,63	0,32	6,47
9	0,92	44,7	0,64	23,2	0,80	37,7	0,57	18,9	0,33	6,87	0,25	3,45	0,27	4,63
10	0,85	38,7	0,64	23,2	0,88	41,2	0,54	17,1	0,33	6,87	0,24	3,63	0,25	3,95
11	0,78	33,1	0,56	18,3	0,79	33,9	0,52	16,0	0,32	6,47	0,23	3,32	0,24	3,63
12	0,77	32,4	0,66	24,5	0,87	44,1	0,51	15,4	0,32	6,47	0,24	3,63	0,22	3,01
13	0,91	40,5	0,66	24,5	0,91	43,8	0,49	14,3	0,32	6,47	0,23	3,32	0,22	3,01
14	0,81	35,5	0,90	44,6	0,82	36,3	0,47	13,3	0,34	7,27	0,24	3,63	0,21	2,72
15	0,80	34,7	0,87	40,4	0,77	32,4	0,47	13,3	0,32	6,47	0,24	3,63	0,22	3,01
16	0,86	39,5	0,80	34,7	0,73	29,4	0,45	12,3	0,32	6,47	0,23	3,32	0,21	2,72
17	0,77	32,4	0,77	32,4	0,68	25,9	0,46	12,8	0,32	6,47	0,29	3,32	0,22	3,01
18	0,75	30,9	1,20	70,1	0,72	28,7	0,44	11,8	0,37	8,53	0,23	3,32	0,22	3,01
19	1,30	64,4	0,83	34,5	0,65	23,9	0,43	11,3	0,39	9,42	0,23	3,32	0,22	3,01
20	1,10	64,4	0,99	51,1	0,63	22,6	0,42	10,8	0,37	8,53	0,23	3,32	0,22	3,01
21	0,87	40,4	0,86	39,5	0,69	26,6	0,42	10,8	0,33	6,87	0,22	3,01	0,32	6,47
22	0,79	23,9	1,50	117,0	0,61	21,3	0,41	10,3	0,31	6,09	0,22	3,01	0,26	4,29
23	1,15	61,0	1,38	99,0	0,60	20,7	0,42	10,8	0,31	6,09	0,22	3,01	0,25	3,95
24	1,10	62,1	1,35	95,8	0,59	20,1	0,42	10,8	0,31	6,09	0,22	3,01	0,22	3,01
25	0,91	43,8	1,40	109,0	0,60	20,7	0,40	9,87	0,30	5,71	0,22	3,01	0,22	3,01
26	0,80	34,7	1,36	97,6	0,58	19,5	0,43	11,3	0,30	5,71	0,21	2,72	0,22	3,01
27	0,73	99,4	1,13	65,6	0,60	22,3	0,43	11,3	0,29	5,34	0,21	2,72	0,22	3,01
28	0,72	28,7	1,00	52,0	0,59	20,1	0,40	9,87	0,29	5,34	0,21	2,72	0,21	2,72
29	0,69	26,6	1,01	53,0	0,53	16,5	0,39	9,42	0,28	4,98			0,22	3,01
30	0,63	22,6	0,89	42,1	0,63	23,4	0,38	8,97	0,28	4,98			0,21	2,72
31			1,30	82,6			0,37	8,53	0,27	4,63			0,22	3,01

Resumen Anual-Gasto medio es 28,8 m<sup>3</sup>/seg.Volumen en millones de M<sup>3</sup> es 907,179Gasto maximo es 418 m<sup>3</sup>/seg.Gasto minimo es 1,63 m<sup>3</sup>/seg.Valores caracteristicos para el periodo de 5 años.

Gasto medio es 29,1

Volumen M.M<sup>3</sup> es 919,286

Gasto maximo es 690

Gasto minimo es 0,55

Planilla 4-2

COMPUTO DE DURACION DE GASTOS

Río Portuguesa en Puente Portuguesa Período 1-4-61 a 31-3-62

Limite Superior M3/Señ.	Número de días	Número de días Acumul.	Porcentaje Parcial	Porcentaje Acumulado
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1.65	2	2	.547	.547
2.00	19	21	5.205	5.753
3.00	15	36	4.109	9.863
4.00	65	101	17.808	27.671
5.00	13	114	3.561	31.232
6.00	7	121	1.917	33.150
7.00	15	136	4.109	37.260
8.00	6	142	1.643	38.904
9.00	9	151	2.465	41.369
10.00	5	156	1.369	42.739
15.00	16	172	4.383	47.123
20.00	12	184	3.287	50.410
25.00	18	202	4.931	55.342
30.00	17	219	4.657	59.999
40.00	45	264	12.328	72.328
50.00	26	290	7.123	79.452
60.00	26	316	7.123	86.575
70.00	16	332	4.383	90.958
80.00	8	340	2.191	93.150
90.00	7	347	1.917	95.068
110.00	8	355	2.191	97.260
150.00	8	363	2.191	99.452
225.00	1	364	.273	99.726
279.00	1	365	.273	99.999

PLANILLA 4.3

SEDIMENTACION

Río: Portuguesa      En: Puente Portuguesa      Area: 765 Km<sup>2</sup>      Periodo: 1-4-61 al 31-3-62

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Límites %	Intervalo %	Ord. Media %	Gasto m <sup>3</sup> /seg	Sedimento Ton/día	(2).(4) 100	(2).(5) 100
0,00-0,02	0,02	0,01	279	211.000	0,056	42,2
0,02-0,1	0,08	0,08	263	190.000	0,210	152,0
0,1-0,5	0,4	0,3	209	119.000	0,836	476,0
0,5-1,5	1,0	1,0	146	53.000	1,460	530,0
1,5-5,0	3,5	3,25	102	21.070	3,570	735,0
5,0-15,0	10,0	10,0	675	4.200	6,700	480,0
15,0-25,0	10,0	20,0	509	1.650	5,090	165,0
25,0-35,0	10,0	30,0	381	580	3,810	58,0
35,0-45,0	10,0	40,0	298	265	2,980	26,5
45,0-55,0	10,0	50,0	195	87,0	1,950	8,7
55,0-65,0	10,0	60,0	850	17,5	0,850	1,75
65,0-75,0	10,0	70,0	455	7,10	0,455	0,71
75,0-85,0	10,0	80,0	361	5,40	0,361	0,54
85,0-95,0	10,0	90,0	300	4,35	0,300	0,435
95,0-98,5	3,5	96,75	180	2,61	0,063	0,091
98,5-99,5	1,0	99,0	166	2,42	0,017	0,024
99,5-99,9	0,4	99,7				
99,9-99,98	0,08	99,94				
99,98-100,00	0,02	99,99				
Total					28.758	2676,95

$\Sigma(6) = Q_m$

$\Sigma(7) = S_m$

N = Número de días del periodo: 365

$V_a = \text{Volumen medio escurrido} = \frac{86.400 \times Q_m \times N}{10^6} = \frac{906.912}{10^6}$  Millones de m<sup>3</sup>

Total

$S_p = \text{Acarreo medio en suspensión} = \frac{S_m \times N}{10^3} = \frac{944.087}{10^3}$  Miles de toneladas

Total

$S_v = \text{Volumen de sedimentos en suspensión} = \frac{S_p}{1,12} = \frac{842.399}{1,12}$  Miles de m<sup>3</sup>

Concentración en peso  $= \frac{S_p \times 10^5}{V_a \times 10^6} = \frac{0,108}{10^6}$  %

Conclusiones.-

Un asunto de interés que se puede notar en la curva de sedimentación está en relación al uso de los registros diarios recolectados para varios años de gasto aproximadamente normales. Los resultados de los registros tienden a agruparse cerca del punto medio del gasto estando la curva bien definida en esta posición. Parece que un muestreo adicional solo hace que se defina aun más la curva en este punto, produciendo cambios muy pequeños.

En el trabajo efectuado por el Dr. Figuera Pérez y el Dr. Rodríguez Barrios sobre este método y el usual, aplicándolos sobre el río Tocuyo se llegó a conclusiones de interés que son necesarias observar aquí: se observaron notables diferencias con los resultados obtenidos por el método usual y los obtenidos por el método Miller.

Es curioso el hecho que por el método de duración-sedimentación hay mayor acarreo en los 7 meses más secos que en los 5 meses más húmedos, mientras que por el método usual obtuvieron resultados inversos. Analizando este fenómeno encontraron que su origen está en la imprecisión de las curvas trazadas usando el porcentaje en peso de sedimento como abscisa en el método usual.

Según estas observaciones ellos conceptúan más preciso y de aplicación más facil y directa el método del Dr. Miller.

## CAPITULO V.

Sedimentación en los Embalses. Método de Incremento - Area. Método Empírico  
Reducción - Area. Conclusiones y Recomendaciones.-

---

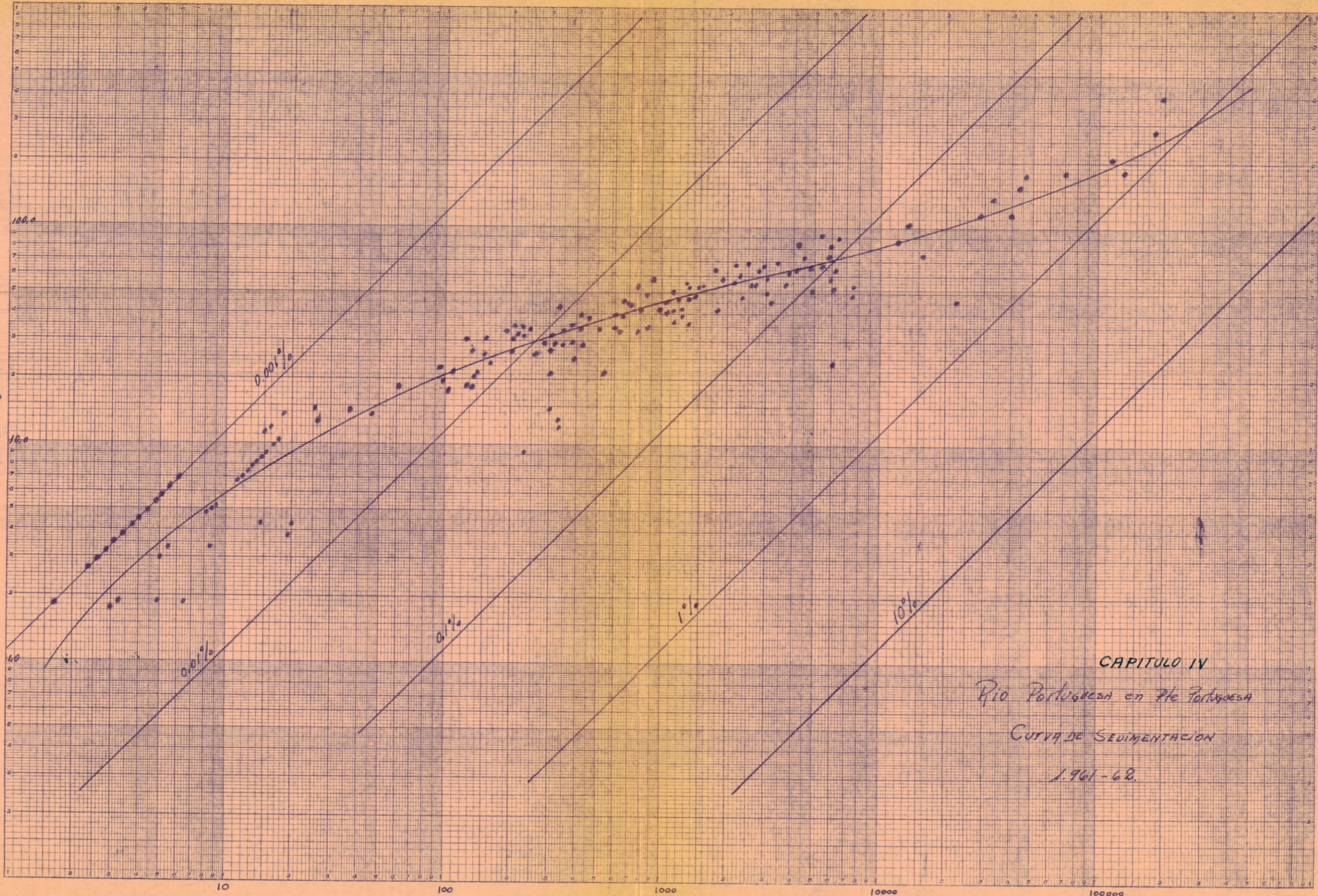
Al planear y desarrollar embalses para múltiples propósitos es muy importante hacer una estimación del espacio para la acumulación de Sedimentos. Este sedimento acumulado influye sobre el diseño de las represas, por que sus efectos sobre la capacidad de almacenaje activo, la salida del sedimento, facilidades de recreación y las condiciones del agua que rebota. Así pues es necesario predecir la probable distribución de sedimento en el embalse, con tiempo.

El método usual a seguir sería obtener datos sobre la acumulación de sedimentos en otros embalses del mismo tipo de terreno. Todos los datos existentes deberían recopilarse. Donde se necesiten datos adicionales, se determina mejor la sedimentación calculando las diferencias entre la capacidad original y la capacidad encontrada por un levantamiento posterior. La diferencia en Hectáreas-metros se divide por el tiempo transcurrido en años, de modo de obtener la rata anual de pérdida de capacidad. Esta rata cuando se divide por la capacidad original dá el porcentaje de pérdidas por capacidad, que debe valorarse en relación con la eficiencia de captación, este es, la razón entre capacidad y area de drenaje. Estudios que se han hecho, han mostrado que los porcentajes anuales de pérdidas de capacidad varían inversamente con la eficiencia de captación del embalse. Así, en una corriente de tamaño dado, un embalse grande perderá capacidad a una rata de porcentaje menor que un embalse pequeño.

Al entrar un curso de agua en un embalse, su velocidad se reduce grandemente dependiendo del volumen del embalse, llegando a ser muy pequeña, casi nula, en los embalses de grandes capacidades.

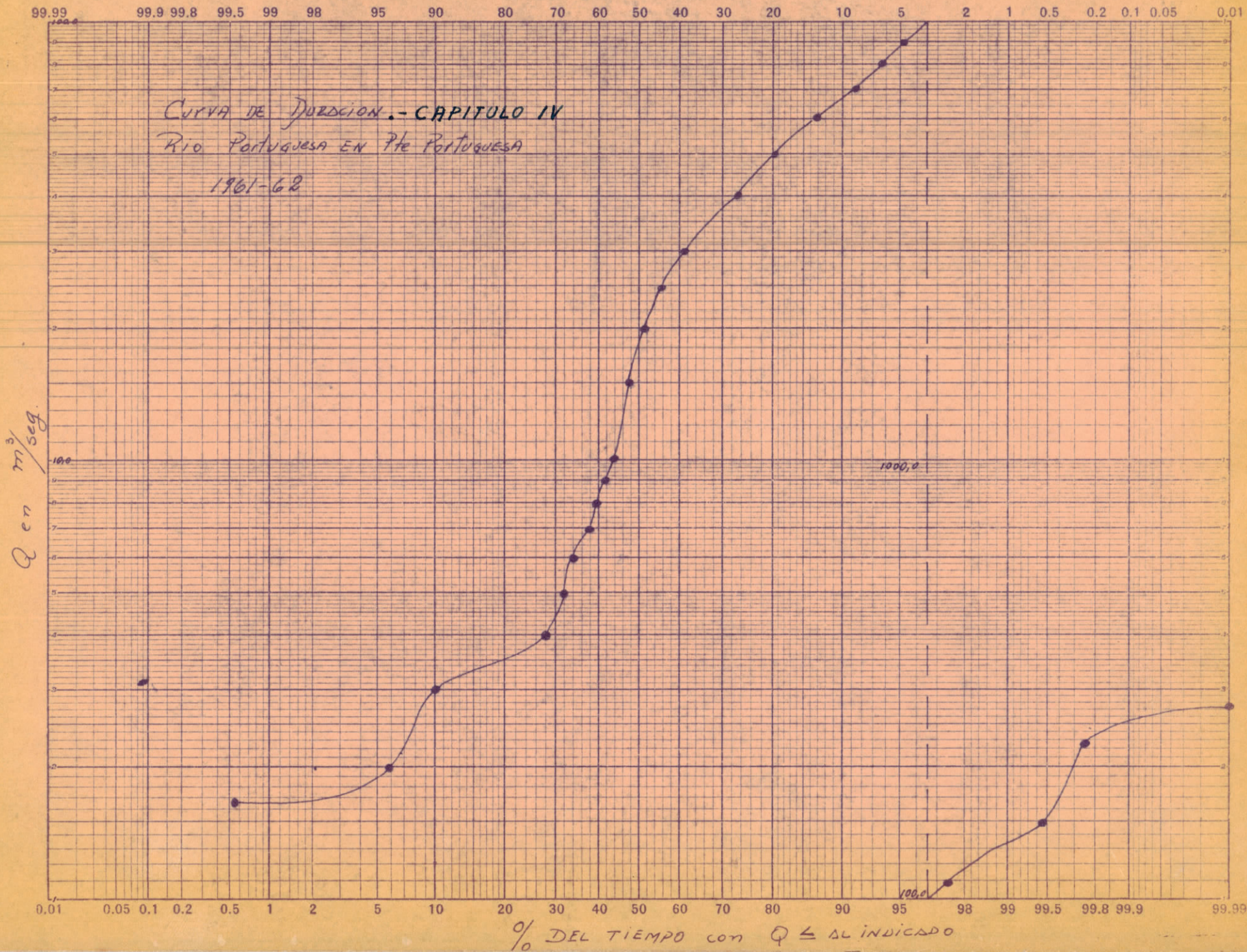
Esta reducción de velocidad acarrea la sedimentación de las partículas sólidas en suspensión en la corriente; primero se decantan las partículas de mayores -

GASTOS EN  $m^3/seg.$



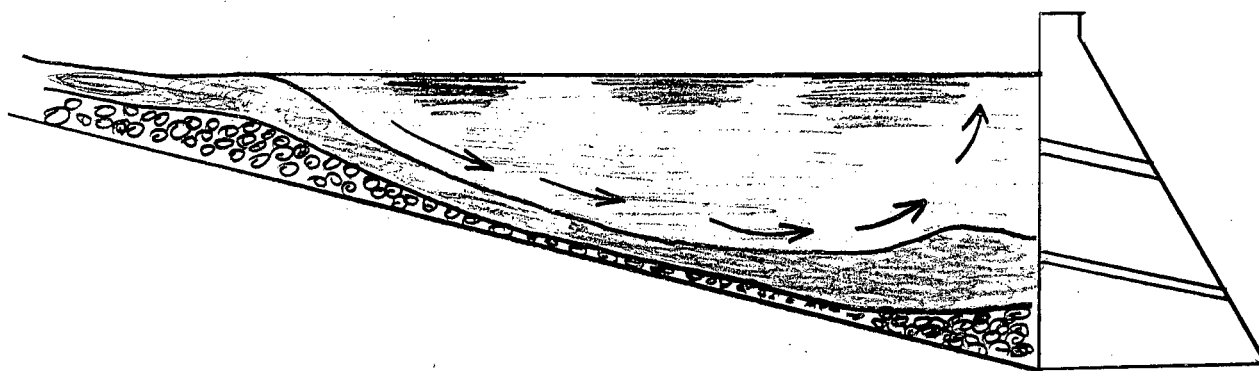
SEDIMENTOS EN ton/dia

CAPITULO IV  
Rio Portuguesa en Pte Portuguesa  
CURVA DE SEDIMENTACION  
1.961-62.



diámetros, luego las de menor diámetro y así sucesivamente. Mientras menor es la velocidad con que atraviesa el agua al embalse, mayor porcentaje de material sólido se depositará en él, y mayor es la relación entre la capacidad del embalse y el volumen total de escorrentia del río; y a la inversa, mientras menor es la relación capacidad-escorrentia anual, menor porcentaje de material sólido se depositará en el embalse. En las curvas de la figura 5-6 se da el porcentaje de material sólido que lleva en suspensión el río y que se deposita en el embalse, para relaciones de capacidad embalse-escorrentia total anual del río. Datos para valores de porcentajes extremos máximo y mínimo, y para valores medios.

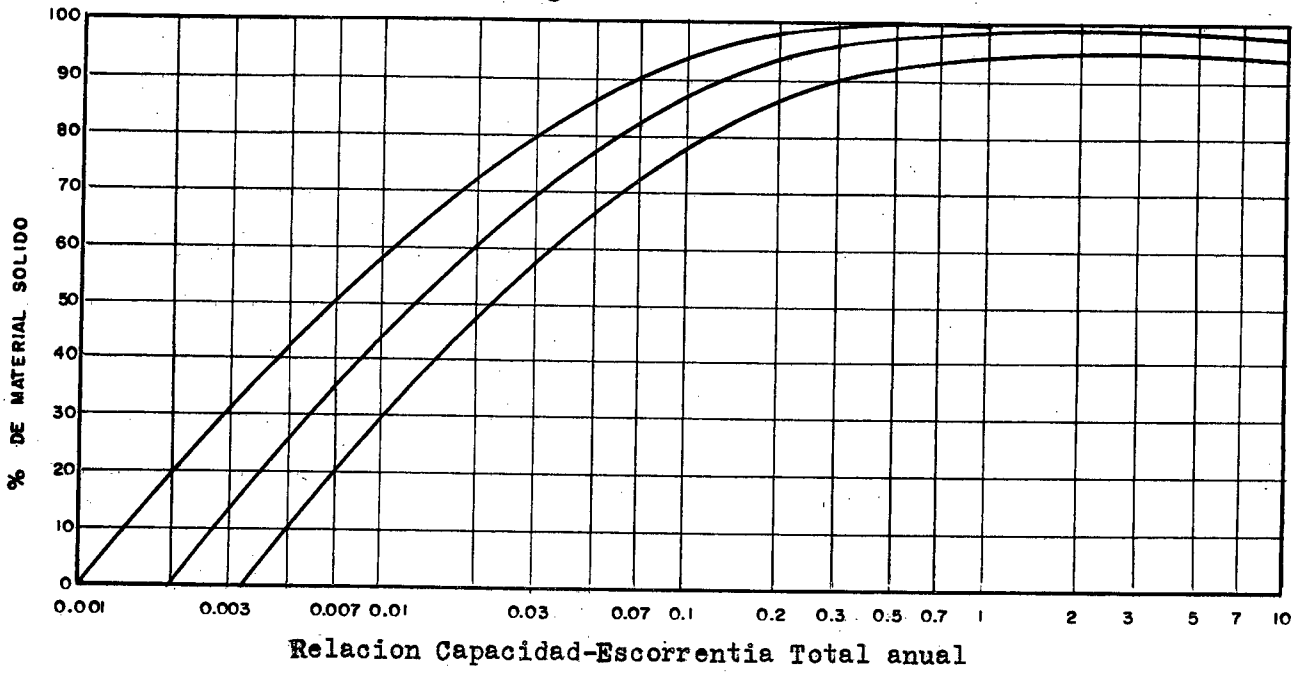
La mayoría de los ríos llevan sedimentos a partículas finas en suspensión y a lo largo de su lecho transportan también material sólido llamado transporte o arrastre de fondo. Al entrar el río en el embalse, las partículas grandes en suspensión y la mayoría del arrastre de fondo se depositan formando un delta en el extremo del embalse, como se vé en la figura:



Las partículas más pequeñas permanecen en suspensión y se decantan dentro del embalse. Las partículas muy pequeñas pueden permanecer siempre en suspensión y pasar a lo largo del embalse saliendo por los aliviaderos o las obras de toma.

Para que el servicio sea eficiente durante el tiempo en que se utilice el embalse, se acostumbra a la capacidad efectiva del embalse agregar un volumen que será llenado por los sedimentos al cabo del tiempo de duración que se asigne al embalse; este tiempo se llama vida del embalse, y el volumen para asolvarse se llama Volumen o Capacidad Muerta, porque no se utiliza en el servicio del embalse para el consumo y la toma inferior quedaría al nivel de la capacidad muerta.

Figura 5-6



El volumen muerto puede ser alrededor de 0,30 de la capacidad efectiva, pero depende de los sedimentos del río.

En los embalses para propósitos de abastecimiento de población (aprovechamientos totales) y para riego, las relaciones capacidad-escorrentía varían entre 0,2 y 1, y por lo tanto, los porcentajes de materiales sólidos varían entre 85 y 100 para curvas extremas y los medios entre 93 y 97 pudiendo adoptarse un promedio fijo de 0,95.

Esta manera de predecir el volumen de sedimento no parece ser muy precisa y un poco empírica. Existe dos métodos desarrollado en EE.UU. de predecir la distribución de sedimento; un método que es básicamente matemático METODO DE INCREMENTO DE AREA, mientras que el otro es un procedimiento matemático desarrollado en base de experiencias actuales y se denomina METODO EMPIRICO DE REDUCCION-AREA.

#### EL PROBLEMA

Hoy día los proyectistas ven muy poco más allá de una ó dos generaciones en determinar la cantidad de agua que se provee en los embalses; a menudo los tamaños de las estructuras depende de la facilidad de conseguir el agua, o sea la cercanía de donde van a traer el agua para el embalse y también las consideraciones-económicas.

La verdad es que el período de vida de todos los proyectos construidos por organismo tales como la U.S.B.R. es casi siempre menor de 100 años; sin embargo el criterio es el de proveer por 100 años de sedimentación, a no ser que se pueda demostrar por análisis económicos que menos tiempo de 100 años es justificado.

Los factores que influyen el modo de la disposición son:

- 1) Forma del embalse.
- 2) Características del sedimento.
- 3) Funcionamiento del embalse.
- 4) Rata de volumen de sedimentación en el embalse.
- 5) La capacidad de la entrada de agua con relación al sedimento.

La figura N°1 enseña un embalse bajo varias condiciones de sedimento; la figura (1a) demuestra el embalse cuando está bajo condiciones iniciales, sin depósitos de sedimento.

La figura (1b) el embalse está lleno parcialmente con partículas gruesas; la figura (1c) está parcialmente lleno de sedimento de arena fina y cieno y por tanto hay considerable succión del embalse; la figura (1e) el embalse está lleno de sedimento, y en este momento la eficiencia de salida es cero.

En lo que respecta el proyectar un embalse, lo más importante es el efecto de la acumulación del sedimento en la consideración del diseño.

La consideración del diseño incluye: 1) La altura hasta donde el sedimento se acumulará en la represa en un dado período de tiempo; esta información afectará el diseño de la elevación de la salida del río y el poder de los umbrales de las esclusas. 2) La reducción de la capacidad activa de almacenaje.

Si esta pérdida puede ser predecida, la altura de la estructura puede ser hecha para proveer el requerido montante de agua para almacenar.

3) Depósitos de sedimentación en la parte alta del embalse.

Estos depósitos pueden resultar en un aumento significativo en la altura por donde entra el agua. Esto a su vez pone en peligro las instalaciones de la entrada del agua (del río), pudiéndose desarrollar crecientes.

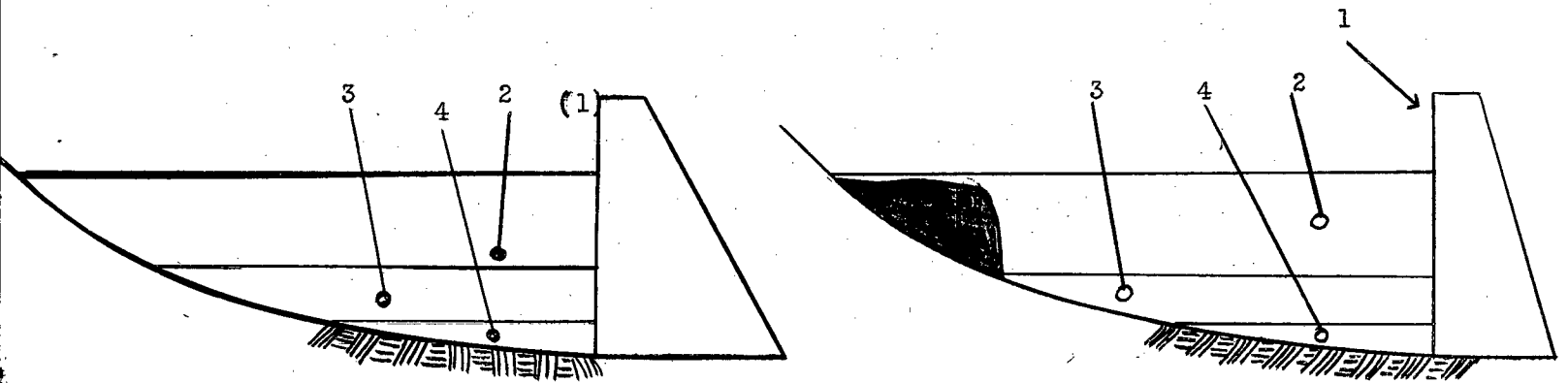
4) Efectos en el desarrollo recreacional alrededor del embalse.

5) Embalses planeados solamente para la acumulación de sedimento.

En este caso la probable acumulación de sedimento es de primera importancia. Una considerable porción del total de sedimentación almacenado puede ser más arriba de la elevación de la cresta del embalse. Así pues es evidente que no se debe tomar en cuenta solamente el montante de la entrada de sedimentación, ya que no es suficiente. Como y donde este sedimento será depositado, debe ser predecido.

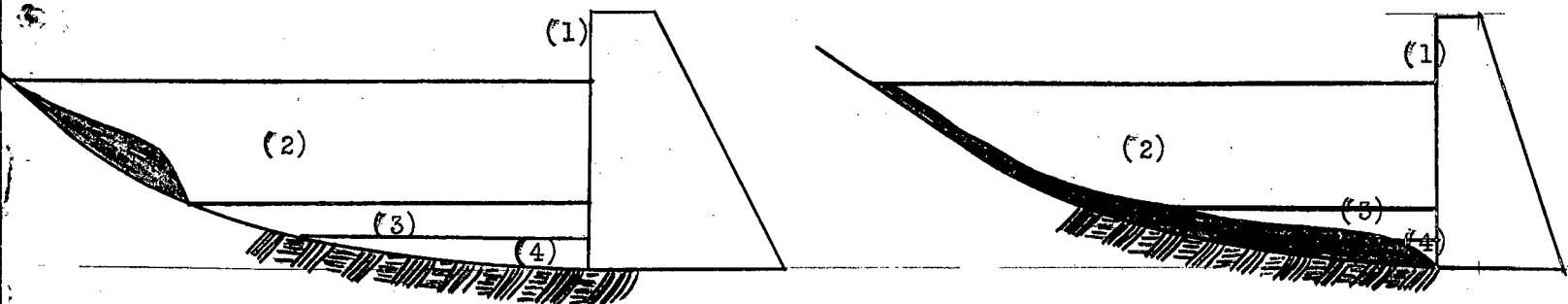
Métodos para predecir la distribución de sedimento.— Los métodos que pueden ser usados para predecir la manera de como el sedimento será distribuido son los siguientes: el primero que es matemático, es el llamado Método de Incremento-Area-

EMBALSES BAJO VARIAS CONDICIONES DE SEDIMENTACION



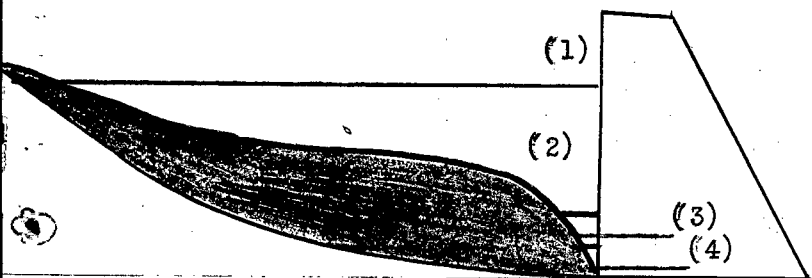
a) Condición Inicial

b) Parcialmente lleno con partículas gruesas



c) Parcialmente lleno con cieno y arena fina

d) Parcialmente lleno con cieno y arcilla



e) Embalse lleno de sedimento

Nota

- (1) Espacio de control de inundación
- (2) Conservación del almacenaje
- (3) Almacenaje inactivo
- (4) Almacenaje muerto

que fue desarrollado por E. Cristóforo; el segundo es un proceso desarrollado en la base de ocurrencias actuales en grandes embalses, es identificado como el método Empírico de Reducción-Area. Ambos procesos envuelven el ajustamiento de las áreas de las superficies originales para demostrar el decrecimiento del área por la sedimentación.

Método de Incremento-Area.-

El procedimiento está basado en la suposición de que el depósito de sedimento de un embalse puede ser casi evaluado por la reducción del área del embalse en cada elevación, por un montante fijo. Esto envuelve una serie de aproximaciones, usando el promedio final del área o fórmulas prismáticas, la capacidad del embalse son computadas sobre la base de que las áreas de las superficies sean reducidas hasta que la capacidad total del embalse esté por debajo de la superficie máxima normal del agua, y sea esencialmente la misma como la capacidad predefinida obtenida.

Usando el embalse de Alamogordo en Ríos Pecos New México como ejemplo nosotros podremos dar cuenta de los pasos a seguir en el M.I.A., la información básica - obtenida es:

La elevación del fondo del río en el dique 4150.

La elevación de la superficie máxima del agua 4275.

La elevación de la cresta del aliviadero es 4275.

El fondo del embalse original es 125 pies (H) (Profundidad).

La entrada de sedimento anual es de 3600 p-a.

Período de sedimentación es de 6,8 años.

Acumulación de sedimento (Vs) es de 24.580,00 p-a (en el período).

Elevación de sedimento en el dique es de 4190.

Capacidad después de la sedimentación es de 132170 p-a.

Capacidad original del embalse es de (4275) 156750 p-a.

Procedimiento por pasos.- El procedimiento del método en estudio puede ser expresado por la siguiente ecuación básica:  $V_s = A_o (H - H_o) + V_o (1)$

en el cual  $V_s$  es el Volumen de sedimento en p-a, que será distribuido en el embalse;  $A_o$  factor de corrección de area en acres, que es el area original del embalse a la nueva elevación cero del embalse;  $H$  denota la profundidad del embalse en pies;  $H_o$  es la profundidad en pies, la cual el embalse está lleno con sedimento y  $V_o$  es el volumen de sedimento en p-a bajo la nueva elevación cero. La ecuación nos dice matemáticamente, que volumen total de sedimento  $V_s$  consiste de la parte uniformemente distribuida verticalmente sobre la altura  $(H - H_o)$  más la porción debajo de la nueva elevación cero del embalse. Usando la ecuación (1), el procedimiento para el M.I.A. es: paso 1°.- dado el dato básico  $V_s$ : 24580 p-a y  $H$ : 125 pies,  $H_o$  puede ser obtenido de la ecuación por tanteos como sigue:

Los términos  $V_o$ ,  $H_o$ ,  $A_o$  están obtenidos asumiéndose  $H_o$  y leyendo  $V_o$  y  $A_o$  de las curvas originales de area y capacidad en la figura 5-2, a la elevación indicada.

Primera prueba: asumiendo  $H_o$  de 25 pies entonces  $A_o$  es 150 acre,  $V_o$  es 1600 p-a y luego aplicando la fórmula (1)

$$24580 = 150 (125 - 25) + 1600 \neq 16600$$

✓ asumiendo  $H_o$  34 pies,  $A_o$  es 235 acre y  $V_o$  es 3300 p-a luego

$$24580 = 235 (125 - 34) + 3300 = 24680$$

la nueva elevación cero en el dique es 4150 más 34 es 4184 y el factor de corrección de area es 235 acres.

Paso 2°.- se computa la acumulación de volumen de sedimento por la fórmula del promedio final de area. (Tabla 1 Columna 5) aplicando el factor correctivo de area a cada incremento de profundidad (Columna 4).

Estos valores se obtienen de la manera siguiente: tomando el valor 23.510 como ejemplo que corresponde a una elevación de 4.270 y esta se resta a la anterior que es 4.275 y resulta 5 este valor se le resta a la nueva elevación cero y resulta 4.179, con esto se entra en la curva de area y capacidad y nos da un  $V_o$  de 2.150 para un mismo  $A_o$ , que llevado a la fórmula (1) resulta  $V_s = 235 (125 - 34) + 2150 = 21385 + 2150 = 23535$  que es con una gran aproximación el  $V_s$  de 4.270.

De esta manera se calcula el resto de los valores de la columna 5. El volumen

computado debe chequearse con el volumen predeterminado de sedimento dentro de ~~1~~ por ciento. Paso 3°.- reducir las areas originales a cada incremento por el factor correctivo de area de 235 acres para dar la area revisada en la tabla 1 (columna 6 igual columna 2 menos columna 4).

Paso 4°.- determinar la capacidad revisada en la tabla 1 (columna 7) reduciendo la capacidad original de cada incremento de la acumulación de sedimentación (columna 7 igual a columna 3 menos columna 5).

Los resultados obtenidos deben ser comparados con las curvas de reelevantamiento. La ecuación básica para este método se usa en hacer una rápida estimación de la profundidad del sedimento, o sea la acumulación sobre un dado período de tiempo.

Refiriéndonos a las curvas de capacidad y de area original y sabiendo el montante de sedimento que se acumulará en x años con un poco de aproximación, la ecuación puede ser balanceada y así una vez establecida la reducción de area puede ser rápidamente aplicada a cada intervalo de altura hasta la superficie máxima normal y las curvas probables de are-capacidad pueden ser determinadas.

TABLA N° 1.- Computos de la deposición de sedimentos por M.I.A.

Elevación en pies (1)	Area Original en acres (2)	Capacidad Original en pie-acre (3)	Ao, en acres (4)	Vs, en a-p (5)	Revisado	
					Area acres (6)	Capacid. a-p (7)
4275	4650	156.750	235	24.680	4415	132.100
4270	4100	133.500	235	23.510	3865	116.000
4260	3200	97.000	235	21.160	2965	75.800
4250	2450	68.750	235	18.810	2215	49.900
4240	1750	47.750	235	16.460	1515	31.300
4230	1250	32.750	235	14.110	1015	18.600
4220	900	22.000	235	11.760	665	10.200
4210	650	14.250	235	9.410	415	4.840
4200	450	8.750	235	7.060	215	1.690
4190	300	5.000	235	4.710	65	290
4184 <sup>a</sup>	235	3.300	235	3.300	0	0
4180	200	2.500	200	2.500	0	0
4170	100	1.000	100	1.000	0	0
4160	50	250	50	250	0	0
4150	0	0	0	0	0	0

a.- Dterminación de la nueva elevación cero.

Elevación en pies

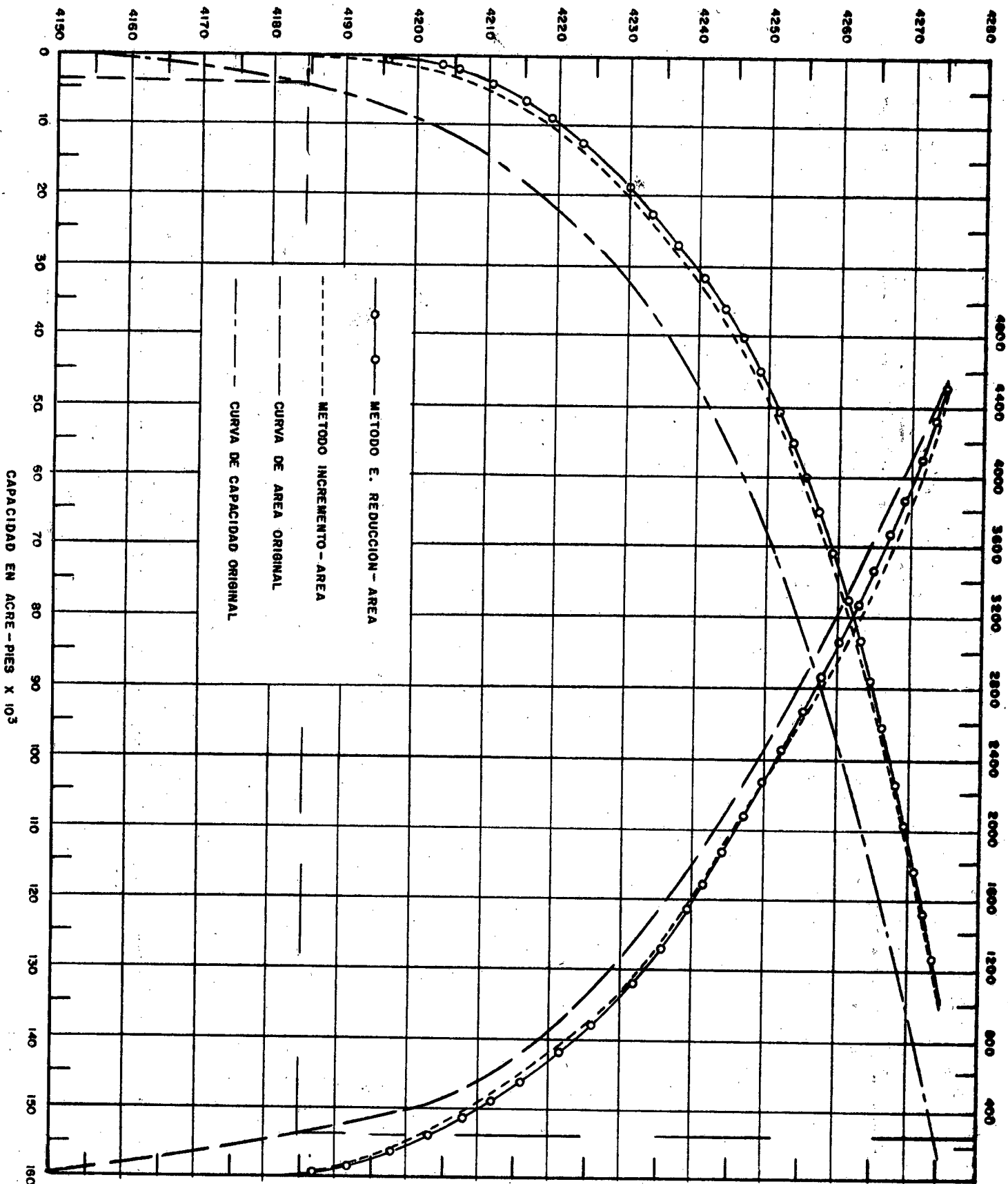


Figura 5-2.- Curvas de Area-Capacida

El Metodo de Incremento-Area es solamente una aproximación de la probable locación del deposito de sedimento. Es bien sabido que los sedimentos no reducen la superficie (area) por el mismo montante a todas las elevaciones dadas; sin embargo comparaciones se han hecho entre los resultados obtenidos por este metodo y los resultados de los reelevamientos y se ha llegado a una buena conclusión en la mayoría de los casos.

Debe ser notado que la aplicabilidad del metodo decrece con un incremento en la relación de volumen de sedimento a la capacidad.

Usualmente la estipulación arbitraria es que si los 100 años de la acumulación de sedimentos excede en un 15% de la capacidad original, un metodo mas exacto debe aplicarse.

En cualquier caso el M.I.A. es un procedimiento de primer chequeo para determinar la distribución probable de sedimento.

#### Método Empirico de Reducción-Area.-

Este método es, tambien, para determinar la probable distribución de sedimento; se lleva a cabo a traves de dos pasos principales: 1) Clasificar el embalse usando 4 curvas basicas del tipo normal que fueron desarrolladas de los datos de reelevamientos; 2) Haciendo un tipo de compute por tanteos, usando la formula del promedio final de area, hasta que la capacidad calculada iguale a la capacidad determinada.

Los datos de reelevamientos para 30 embalses han sido usados para desarrollar 4 tipos de curvas que tienen porcentaje de profundidad contra porcentaje de sedimento, estos 4 tipos de curva varian de acuerdo con el sitio, tipo de operación y características del sedimento, como se puede observar en la figura 5-3.

Las capacidades oscilan desde 40.000 a 30.000.000 de pies-acres con muy pocas excepciones. La profundidad esta basada en la diferencia entre la elevación del fondo del dique (capacidad cero) y la elevación a la superficie maxima normal del agua. La clasificación general, que es el resultado de los datos que forman los 30 embalses, es como sigue:

Valor de M.	Tipo de embalse	Clasificación standard
1,0 - 1,5	Garganta	IV
1,5 - 2,5	Colina	III
2,5 - 3,5	Llano	II
3,5 - 4,5	Lago	I

El termino M es el reciproco de la pendiente n, de la linea obtenida ploteando el fondo del embalse como ordenada y la capacidad del embalse como abscisa en papel log-log (fig. 5-4); se debe notar que un tipo lago no necesariamente tiene que estar en una llanura ni tampoco del tipo garganta(IV) tendria que estar en las montañas; el tipo garganta es la peor de 4 definidas clasificaciones.

Aplicando el tipo standard de curvas a un embalse propuesto es necesario determinar el tipo de curva que calze al embalse que vamos a estudiar. La primera selección es obtenida ploteando las profundidades contra la capacidad inicial del embalse en papel log-log, esto usualmente da una recta o en algunos casos dos lineas rectas. La pendientes de las rectas da una indicación del tipo. Generalmente una curva mostrando un incremento rapido en capacidad con la profundidad indica un tipo de dique de una holla grande, mientras que un incremento pequeño en capacidad con la profundidad indica un embalse del tipo garganta.

Estas informaciones clasifican los embalses segun su forma. La curva de tipo standard puede ser seleccionadas para otras condiciones, tales como anticipar la operación del embalse, tipo de entrada de sedimento o relación de capacidad a entrada.

El tipo de curva de porcentaje de profundida vs porcentaje de sedimento depositado ya adoptado puede ser una combinación de los dos tipos o puede caer entre dos de los cuatros tipos de holla, pero generalmente uno de los 4 tipos basicos llenaran las condiciones requeridas; como se puede ver hay que utilizar mucho para hacer esta selección. Habiendose seleccionado un tipo de curva de sedimento depositado lo restante es matematico.

Los 4 tipos standard de curva de sedimento vs profundidad se han convertido a curvas de diseño de areas(fig. 5-5), en los calculos.

El diseño de las curvas de area tiene almacenaje de sedimento como ordenada y profundidad relativa como absisa.

El area bajo la curva en cada caso es igual a la unida usada. Otras curvas pueden ser producidas mientras tan grandes como sea la unidad de areas bajo la curva. La conversi6m de estas curvas han sido hechas por Bloody aplicando la ecuaci6n siguiente:

$$A_p = C p^m (1 - p)^n$$

en la cual  $A_p$  representa valores relativos del area a una distancia relativa  $p$  sobre el fondo del rio,  $C$ ,  $m$ , y  $n$  son valores constantes determinados por el tipo de embalse. Los valores numericos de  $m$  y  $n$  son computados por tanteo, usando el procedimiento de los m6nimos cuadrados para hacer la curva analitica lo mejor posible adaptada a los datos de campo.

Con  $m$  y  $n$  determinados,  $C$  es fijado por la consideraci6n, de que el area total bajo la curva de  $A_p$  debe ser unitaria. Las caracteristicas constantes de  $C$ ,  $m$ , y  $n$  determinados para los cuatro tipos de embalses estan dadas en la Tabla N° 2.

Tabla 2.- Caracteristicas constantes

Tipos (1)	C (2)	m (3)	n (4)	Almacenaje Sedimento	Ecuaci6n de la curva en fig.5-5 (6)
I	3,417	1,5	0,2	Superf.	$A_p = 3,417p^{1,5}(1 - p)^{0,2}$
II	2,324	0,5	0,4	Media alta	$A_p = 2,324p^{0,5}(1 - p)^{0,4}$
III	15,882	1,1	2,3	Media arriba	$A_p = 15,882p^{1,1}(1 - p)^{2,3}$
IV	4,232	0,1	2,5	Fondo	$A_p = 4,232p^{0,1}(1 - p)^{2,5}$

No hay una logica prograsi6n en estas constantes, ya que el factor sedimento se mueve de arriba para abajo.

#### Pasos del procedimiento.-

El metodo, desde este punto puede ser hecho en forma de tabulaci6n; otra vez los datos del embalse de Alamogordo son usados como ilustraci6n.

Los pasos son los siguientes: Paso N° 1.- Determinar la profundidad re-

lativa para cada incremento en el dique, como esta en la Tabla N° 3, columna 4. Esto es, la relación del incremento de la profundidad a la profundidad total (maxima superficie normal del agua en la profundidad del río ó embalse), este es el valor determinado en la columna 1 de la misma tabla; Paso N° 2.- Determinar valores relativos de areas de sedimento  $A_p$  de la figura 5-5, despues de que la curva tipo standard ha sido seleccionada de la fig. 5-3. Para el embalse en estudio un tipo II ha sido determinado. Para determinar los valores se entra en la curva de la fig. 5-5 con la profundidad relativa para cada incremento y se lee los valores correspondientes de  $A_p$ . Estos han sidos tabulados en la tabla 3 columna 5.

Paso N° 3.- Seleccionar una primera aproximación de la probable elevación de sedimento en el dique despues de la sedimentación. Areas en y bajo de esta elevación seran igual a las areas en la columna N° 2. Areas de sedimentación para cada profundidad, sobre la nueva elevación cero, se obtiene dividiendo el area original a la elevación cero (columna 2) entre el valor correspondiente de  $A_p$  (columna 5) y multiplicando esta rata, que llamaremos  $k$ , por el valor de  $A_p$  para cada incremento. Ej: asumiendo que la elevación cero es de 4190 el area que corresponde es de # 300 acres y  $A_p$  es de 1,125, luego

$$k = \frac{300}{1,125} = 266,7$$

La nueva area en cada elevación que sigue es  $A_p$  multiplicado por 266,7.

Paso N° 4.- Con las areas de sedimentación establecidas (columna 6), el volumen incremental de sedimentación puede ser obtenido aplicando la formula de  $V_s$  y colocando estos valores en la columna 7; la columna 6 y la columna 7 representa la primera aproximación. Si la sumación de los volúmenes de sedimentos en la columna 7 difiere con el que se quiere obtener se efectua una segunda aproximación. Segundas y terceras aproximaciones se pueden ver en la columna 8 hasta la columna 11.

Paso N° 5.- Se acumula el volumen de sedimento como se lee en la columna 11 y se entra en la columna 12; Paso N° 6.- Determine las areas revisadas despues de la sedimentación.- Columna 13 igual columna 2 menos columna 10; Paso N° 7.- Se determina la capacidad revisada.- Col. 14 igual Col.3 menos Col. 12.

Tabla N° 3.- Deposición de sedimento por el Método de Reducción-Area.

Elevación en pies (1)	Area Original en acres (2)	Capacidad Orig. acre-pies (3)	Profundidad Relativa (4)	Ap Tipo II (5)
4275	4650	156.750	1,00	0
4270	4100	133.500	0,96	0,62
4260	3200	97.000	0,88	0,93
4250	2450	68.750	0,80	1,090
4240	1750	47.750	0,72	1,185
4230	1250	32.750	0,64	1,235
4220	900	22.000	0,56	1,240
4210	650	14.250	0,48	1,195
4200	450	8.750	0,40	,175
4190	300	5.000	0,32	1,125
4180	200	2.500	0,24	1,02
4170	100	1.000	0,16	0,87
4160	50	250	0,08	0,63
4150	0	0	0,00	0,00

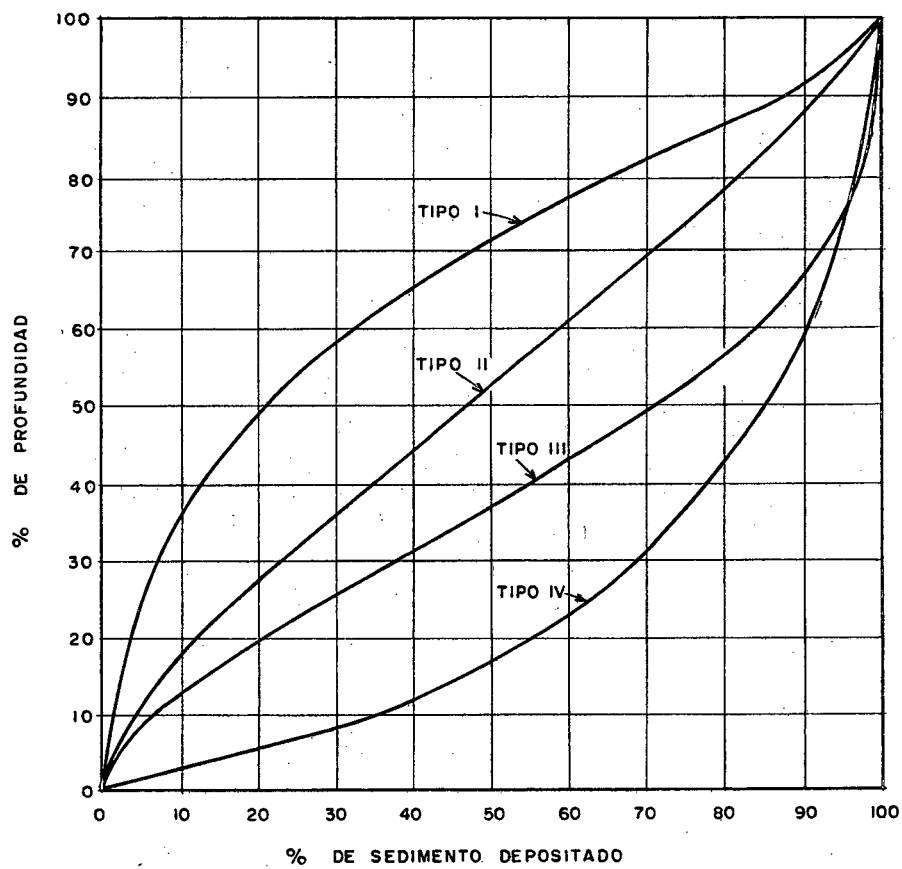
Primera Aproximación		Segunda aproximación		Tercera aproximación	
(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
0	415	0	322	0	335
166	2070	129	1615	134	1675
248	2690	194	2105	201	2190
290	3030	227	2370	237	2465
316	3220	247	2520	256	2615
328	3310	257	2590	267	2690
334	3320	261	2595	271	2695
330	3240	258	2535	268	2630
318	3090	249	2415	258	2505
300	2500	234	2170	243	2215
200	1500	200	1500	200	1500
100	750	100	750	100	750
50	250	50	250	50	250
0		0		0	
	<u>29.385</u>		<u>23.737</u>		<u>24.515</u>

Nota.- Las columnas 6,8,10 son Area de sedimento en Acres  
Las columnas 7,9,11 son Volumen de sedimento en pies - acres

continua la Tabla N° 3.-

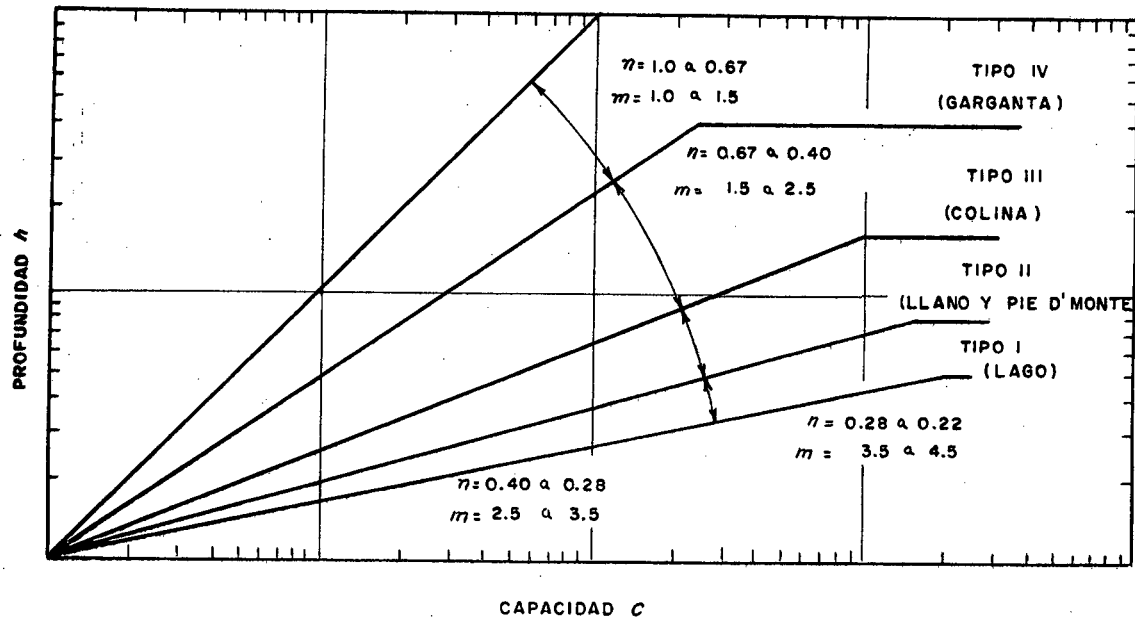
Volumen de sedimento acumalado en a - p. (12)	Area revisada en acres (13)	Capacidad Revisada en a-p. (14)
24.515	4650	132.200
24.180	3970	109.300
22.505	3000	74.500
20.315	2210	48.440
17.850	1490	29.900
15.235	980	17.520
12.545	630	9.460
9.850	380	4.400
7.220	190	1.530
4.715	60	285
2.500	0	0
1.000	0	0
250	0	0
0	0	0

Figura 5-3



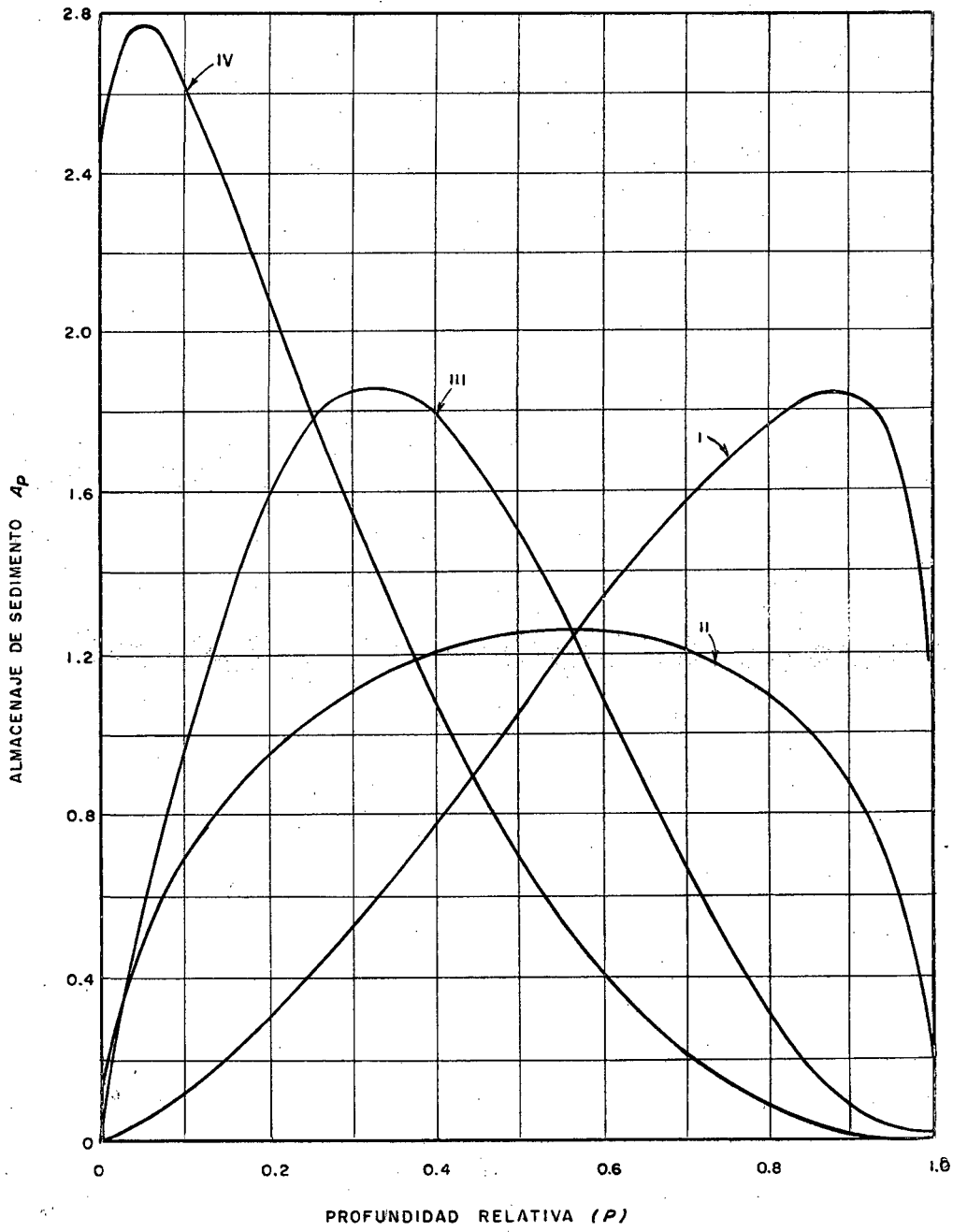
Curvas Tipos

Figura 5-4



Clasificación de los embalses

Figura 5-5



Curvas de diseño de areas

Usualmente dos ó tres aproximaciones son necesarias para obtener el balance obtenido. Si el volumen sumado esta dentro del 1% del volumen predeterminado, suficiente exactitud ha sido obtenida.

Este metodo permite la clasificación de un propuesto embalse en un tipo standard que inmediatamente da una indicación de la manera el cual el sedimento sera distribuido. En grandes embalses el sedimento depositado sobre la superficie normal de agua muy rara vez excedera en un 10% del total, en periodo de 50 a 100 años. La altura de sedimento en el dique en varios intervalos de tiempos calculadas de esta manera resulta con una buena aproximación.

#### Conclusiones.-

Los dos metodos como se pudo observar son adecuados y nos arrojan resultados bastante aproximados sobre el volumen de sedimento.

El grado de exactitud de estos métodos se puede demostrar mediante las curvas de area y capacidad obtenidas por sondeos.

Estos metodos no los pude aplicar para algun embalse en nuestro pais debido a la carencia de datos basicos para la aplicación de los mismos. Asi puedo decir: con respecto al M.I.A. el valor de la Acumulación de sedimento para un determinado periodo no se tiene, ya que no se lleva ni se hace el proceso de muestreo en todos los embalses hasta ahora construidos; esta toma de la muestra debe ser tomado diaramente y a la entrada del embalse.

Con respecto al segundo metodo no se puede aplicar ya que es necesario datos de reelevamientos practicados para el desarrollo de las 4 curvas basicas que nos serviran para clasificar el embalse, ademas de el dat anteriormente citado. Este dato de reelevamiento tampoco se pudo encontrar ya que no se ha practicado sondeos a ninguna de los embalses ya construidos.

En consecuencia de lo anteriormente expuesto se hace necesario formular algunas recomendaciones: 1) Llevar registro de sedimentacion para los embalses; 2) Iniciar una serie de reelevamientos en todos aquellos embalses que tengan 5 años de construidos, con el objeto de ver como ha reducido su capacidad y de

esa forma obtener la rata de sedimentación; 3) Con los dos puntos anteriores, hacer ensayos sobre estos dos metodos para ver si se pueden mejorar ó al menos adoptarlos como metodos para predecir la acumulación de sedimento para un determinado periodo de tiempo.

---

B I B L I O G R A F I A

- 1.-Problema de la Sedimentación del Dr.Nicolas Nouel
- 2.-Principles of Sedimentation, Twenhofel. Biblioteca. Servicio de Hidrologia. I.N.O.S.
- 3.- Apuntes de Hidraulica del Dr. Hipolito Kwirs
- 4.- Area Increment Method for Distributing Sediment in a Reservoir, by Eugene A. Cristofano,
- 5.- Interim Report Distribution of Sediment in Reservoirs, by Div. of Proj. Investigations, Hydrology Branch, U.S.B.R.
- 6.- Colección de reportes (10) sobre "Estudios de los métodos en la medida y analisis de carga de sedimentación en los Rios.
- 8.- Instructivo para la determinación de la cantidad de sedimento transportado por los rios. Servicio de Hidrologia. I.N.O.S.
- 9.- Apuntes de Sedimentación, del Dr. Oscar Sucre
- 10.- Trabajo del Dr. Figuera Perez y del Dr. Rodriguez, sobre analisis comparativo de los Métodos: Usual y Curvas de Duración de Gasto-Sedimentación.
- 11.- Proceeding A.S.C.E. Enero 1.951.- Measurement of Sedimentation in Small Reservoirs.
- 12.- Saltos de agua y presas. Gomez Navarro
- 13.- Trans. A.S.C.E - Hydraulics Division. Vol. Nov. 1.961
- 14.- Trans. A.S.C.E.- Vol. 1.960 N° 125.- Sedimentation in great Reservoirs.
- 15.- Trans. A.S.C.E.- Vol 1.961 N° 126 .Parte 3.

